

**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID**  
**FACULTAD DE BELLAS ARTES**



**TESIS DOCTORAL**

**Nueva técnica y procedimiento para generar color directo  
sobre soportes sin utilizar pigmentos convencionales:  
aplicación a las artes plásticas**

**MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR**

**PRESENTADA POR**

**Antonio Téllez de Peralta**

**Director**

**Manuel Huertas Torrejón**

**Madrid**

**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID  
FACULTAD DE BELLAS ARTES**



**TESIS DOCTORAL  
NUEVA TÉCNICA Y PROCEDIMIENTO PARA GENERAR COLOR DIRECTO  
SOBRE SOPORTES SIN UTILIZAR PIGMENTOS CONVENCIONALES.  
APLICACIÓN A LAS ARTES PLÁSTICAS.**

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR  
PRESENTADA POR  
**Antonio Téllez de Peralta**

Director  
**Prof. Dr. Manuel Huertas Torrejón**



**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID  
FACULTAD DE BELLAS ARTES**

**TESIS DOCTORAL  
NUEVA TÉCNICA Y PROCEDIMIENTO PARA GENERAR COLOR DIRECTO  
SOBRE SOPORTES SIN UTILIZAR PIGMENTOS CONVENCIONALES.  
APLICACIÓN A LAS ARTES PLÁSTICAS.**

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR  
PRESENTADA POR  
**Antonio Téllez de Peralta**

Director  
**Prof. Dr. Manuel Huertas Torrejón**

**Noviembre 2019**





UNIVERSIDAD  
COMPLUTENSE  
MADRID

**DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD DE LA TESIS  
PRESENTADA PARA OBTENER EL TÍTULO DE DOCTOR**

D./Dña. Antonio Téllez de Peralta,  
estudiante en el Programa de Doctorado 2019-2020,  
de la Facultad de Bellas Artes de la Universidad Complutense de  
Madrid, como autor/a de la tesis presentada para la obtención del título de Doctor y  
titulada:

NUEVA TÉCNICA Y PROCEDIMIENTO PARA GENERAR COLOR DIRECTO SOBRE SOPORTES  
SIN UTILIZAR PIGMENTOS CONVENCIONALES. APLICACIÓN A LAS ARTES PLÁSTICAS.

y dirigida por: Prof. Dr. MANUEL HUERTAS TORREJON

**DECLARO QUE:**

La tesis es una obra original que no infringe los derechos de propiedad intelectual ni los derechos de propiedad industrial u otros, de acuerdo con el ordenamiento jurídico vigente, en particular, la Ley de Propiedad Intelectual (R.D. legislativo 1/1996, de 12 de abril, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Propiedad Intelectual, modificado por la Ley 2/2019, de 1 de marzo, regularizando, aclarando y armonizando las disposiciones legales vigentes sobre la materia), en particular, las disposiciones referidas al derecho de cita.

Del mismo modo, asumo frente a la Universidad cualquier responsabilidad que pudiera derivarse de la autoría o falta de originalidad del contenido de la tesis presentada de conformidad con el ordenamiento jurídico vigente.

En Madrid, a 29 de noviembre de 2019

  
Fdo.: Antonio Téllez de Peralta

Esta DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD debe ser insertada en  
la primera página de la tesis presentada para la obtención del título de Doctor.



*“Hay una fuerza motriz más poderosa que el vapor, la electricidad y la energía atómica: la voluntad.”*

*Albert Einstein*

*“Todos somos muy ignorantes.  
Lo que ocurre es que no todos ignoramos las mismas cosas.”*

*Albert Einstein*



## **Resumen / Summary**

### **Español/Spanish**

#### **Título: Nueva Técnica y Procedimiento para Generar Color Directo sobre Soportes sin utilizar Pigmentos Convencionales. Aplicación a las Artes Plásticas.**

**Introducción:** El hombre ha dejado reliquias de su existencia sobre la Tierra en numerosos restos arqueológicos, manos estarcidas y pinturas rupestres, que la ciencia actual permite datar hasta de 60.000 años atrás, dentro del Paleolítico Medio, existiendo fragmentos de metales nativos y meteoritos con muestras de haber sido manipulados por la mano del ser humano. Toda esta actividad, englobada bajo la denominación de Prehistoria, empieza a ser relatada a partir del siglo XXX a.C. con la aparición incipiente de la escritura cuneiforme, basada en grafismos, que empiezan a reflejar un pasado construido sobre épocas no vividas por quienes las escriben, pero que transmite un relato que condiciona el pensamiento humano del entorno que tiene acceso al mismo. Es así como aparece el relato sobre el hombre más antiguo del que se tiene referencia escrita, Adán, que algún relator le atribuye ser el primer ser humano y, además, le asigna el haber sido creado por Dios. Aparecen también relatos que hacen referencia a sus descendientes, a los que asignan largos periodos de vida, entre ellos al propio Adán con una longevidad asignada de 930 años, que se supone conoció el árbol de la vida en el supuesto Jardín del Edén, cuyas hojas curaban las enfermedades. Sobre esta creencia nace la Alquimia, cuyo fin esencial era, y sigue siendo, llegar con intensos trabajos en laboratorios, a la Piedra Filosofal como medio de alcanzar la sabiduría y la longevidad. La demostración de haber alcanzado este objetivo era utilizar la Piedra Filosofal, a través del polvo de proyección, para transmutar los metales impuros en metales nobles, como oro o plata. Y a esta actividad dedicaron sus vidas muchos Alquimistas, en buena medida para enriquecerse. Este proceso condujo a muchos descubrimientos con anterioridad al siglo XVII, como fueron productos químicos, tintes, cerámicas y vidrios coloreados, y también pigmentos que mantuvieron en secreto al amparo de una filosofía hermética que impedía su difusión, entre otras razones porque las élites poderosas deseaban ser sus únicos beneficiarios.

**Síntesis, objetivos y resultados:** Este trabajo se ha enfocado hacia el conocimiento de la materia y, en particular, de los metales, que representan más del 80% de los 118 elementos químicos conocidos en la actualidad. Se ha centrando el esfuerzo en la obtención de color por ataque químico de soportes metálicos habitualmente utilizados en las artes plásticas. Específicamente en pintura y escultura. Se trata de poner en valor el conocimiento de la materia, a través de los modelos que configuran la estructura del átomo, como elemento impulsor de la creatividad, estableciendo procedimientos innovadores para la propia expresión artística. Con estos objetivos se aborda una investigación aplicada partiendo de recetas históricas, nacidas o no de la Alquimia, sentándose las bases para formular nuevas recetas, sobre los principios básicos que aporta la Química moderna, que permiten obtener resultados contrastables y repetibles.

**Conclusiones:** El trabajo realizado permite concluir con la aplicabilidad de las técnicas y procedimientos desarrollados, al ser aplicados a distintos soportes, con aparejos y cargas habituales en las artes plásticas, que se someten a tratamientos específicos descritos para hacer posible su coloración con las recetas químicas desarrolladas y probadas, sin utilizar pigmentos tradicionales, que generan una amplia paleta de color in situ, tanto en chapas metálicas, como en maderas, telas y distintas resinas, realizándose ejercicios de demostración con resultados concretos en dibujo, pintura y escultura.

### **English/Inglés**

**Title: New Technique and Procedure to Generate Direct Color on Supports without using Conventional Pigments. Application to Fine Arts.**

**Introduction:** Man has left relics of his existence on Earth with numerous archaeological remains, stenciled hands and cave paintings, which current science allows dating back to 60,000 years ago, within the Middle Paleolithic. Fragments of native metals and meteorites have been found with signs of having been manipulated by the hand of the human being. All this activity, encompassed under the denomination of Prehistory, begins to be recounted from the 30<sup>th</sup> century BC with the incipient appearance of cuneiform writing, based on graphics, which begins to reflect a past built on times not lived by who writes it, but that conveys a story that conditions human thinking of the environment that has access to it. So appears the story about the oldest man of whom there is written reference, Adam, whom some relator assigns as the first human being and also assigns to have been created by God. There are also stories which refer to his descendants, to those who assign long periods of life, including Adam himself with an assigned longevity of 930 years, who is supposed to know the tree of life in the supposed Garden of Eden, whose leaves cured diseases. Alchemy is born on this belief, whose essential purpose was, and continues to be, to arrive with intense laboratory work, to the Philosopher's Stone as a means of attaining wisdom and longevity. The demonstration of having achieved this goal was to use the Philosopher's Stone, through the projection powder, to transmute impure metals into noble metals, such as gold or silver. And to this activity many Alchemists dedicated their lives, largely to enrich themselves. This process led to many discoveries until the 17<sup>th</sup> century, such as chemicals, dyes, colored ceramics and glass, and pigments which kept secret under a hermetic philosophy which prevented their diffusion, among other reasons, because powerful elites wanted to be their only beneficiaries.

**Synthesis, targets and results:** This work has focused on the knowledge of matter, and in particular of metals, which represent more than 80% of the 118 chemical elements known today. The effort has been focused on obtaining color by chemical attack of metal supports commonly used in the fine arts. Specifically painting and sculpture. It is therefore a question of putting value on the knowledge of the matter, through the models which configure the structure of the atom, as a driving element of creativity, establishing innovative procedures for the artistic expression itself. For these

purposes, applied research is approached based on historical recipes, born or not from Alchemy, laying the groundwork for formulating new recipes based on the basic principles provided by modern Chemistry, that allow to obtain proven and repeatable results.

**Conclusions:** The work carried out is applied to different supports, rigs and usual loads in the fine arts and they are subsequently subjected to treatments to make their coloring possible with the chemical recipes developed and tested, without using traditional pigments, which generate a wide color palette in situ, both in metal sheets, as in wood, canvases and different resins, implementing demonstration exercises with specific results in drawing, painting and sculpture.



## **Agradecimientos**

A todos los que, de modo directo e indirecto, me han alentado para emprender y concluir esta tesis doctoral. Todos han tenido la paciencia de soportar mis ausencias al dedicar muchas horas de trabajo encerrado en mi estudio-taller, y también en mi mesa de trabajo, durante largas noches que han sido fundamentales para documentar las pruebas y trabajos elaborados durante el día en el singular laboratorio en el que se ha convertido mi taller.

No puedo dejar de resaltar mi reconocimiento por el apoyo recibido del Prof. Dr. Manuel Huertas Torrejón, Director de esta Tesis, que me ha facilitado el poder llevar a buen puerto el conjunto de los trabajos realizados, que con su presentación y defensa pública me llevará a culminar una etapa. Etapa que visualizo solo transitoria, porque son muchos los caminos, inquietudes y preguntas que han surgido y que aún esperan encontrar su explicación científica, lo que me impulsa a seguir trabajando por nuevos senderos, ahora ya más centrados en la propia creación artística.



## TABLA DE CONTENIDO

<b>Resumen / Summary</b> .....	<b>9</b>
<b>Agradecimientos</b> .....	<b>13</b>
<b>INTRODUCCION</b> .....	<b>19</b>
<b>1. ANTECEDENTES</b> .....	<b>27</b>
<b>1.1. Prehistoria del hombre y los metales</b> .....	<b>27</b>
<b>1.2. Primeros relatos históricos</b> .....	<b>41</b>
<b>1.3. Edad de los metales</b> .....	<b>46</b>
1.3.1. Edad del Cobre.....	47
1.3.2. Edad del Bronce .....	50
1.3.3. Edad del Hierro .....	51
<b>1.4. Aproximación a la Alquimia y su desarrollo</b> .....	<b>53</b>
1.4.1. Fundamentos de la Alquimia.....	60
1.4.2. Objetivos de la Alquimia .....	63
1.4.3. Medios: El Laboratorio.....	67
1.4.4. Etapas del Proceso Alquímico: importancia del color.....	70
1.4.5. Adeptos, alquimistas y espagiristas.....	74
1.4.6. Principales descubrimientos de la Alquimia.....	75
1.4.7. Testimonios .....	78
1.4.8. Declive de la Alquimia Occidental.....	80
<b>1.5. Aproximación a la Química moderna</b> .....	<b>82</b>
1.5.1. La Ciencia Moderna: Lavoisier y la revolución química .....	83
<b>1.6. Aproximación al color en Pintura y Escultura</b> .....	<b>85</b>
1.6.1. Aproximación a las pátinas .....	91
<b>1.7. Estructura de la materia</b> .....	<b>99</b>
1.7.1. Comportamiento de la materia .....	99
1.7.2. Teorías sobre la estructura de la materia.....	103
1.7.3. La Tabla Periódica de los Elementos .....	113
1.7.4. Sistema Periódico de Werner .....	116
<b>1.8. Electroquímica</b> .....	<b>120</b>
1.8.1. Reacciones de Oxidación y Reducción .....	122
1.8.2. Presión de disolución de los metales.....	126
1.8.3. Potencial de electrodo.....	127
1.8.4. Pilas Electroquímicas .....	129
1.8.5. Electrodeposición de los metales.....	137
<b>2. SITUACION ACTUAL DEL CONOCIMIENTO DE LA MATERIA</b> .....	<b>139</b>
<b>2.1. Modelos atómicos más recientes</b> .....	<b>139</b>
2.1.1. Modelo de los cuantos de Planck.....	139
2.1.2. Modelo de Bohr: Postulados.....	140
2.1.3. Modelo de Sommerfeld.....	144
2.1.4. Principio de exclusión de Pauli y Reglas de Borh y Bury.....	149
2.1.5. Configuración electrónica de los elementos.....	151
<b>2.2. Propiedades de los elementos químicos</b> .....	<b>154</b>

2.2.1. Metales de la columna 1 A. (Li, Na, K, Rb, Cs y Fr) .....	159
2.2.2. Metales de la columna 2 A. (Be, Mg, Ca, Sr, Ba y Ra) .....	159
2.2.3. Metales de transición: Columnas 1B, 3B a 8B.....	160
2.2.4. Elementos de la columna 5A. (N, P, As, Sb, Bi).....	161
2.2.5. Elementos de la columna 6A. (O, S, Se, Te, Po) .....	162
2.2.6. Elementos de la columna 7A. (F, Cl, Br, I).....	162
<b>2.3. Propiedades de los compuestos químicos: Tipos de enlaces .....</b>	<b>163</b>
2.3.1. Enlace químico iónico.....	163
2.3.2. Enlace homopolar u atómico.....	165
2.3.3. Enlace metálico .....	166
<b>2.4. Electrodeposición de metales (EDM) .....</b>	<b>173</b>
2.4.1. Potenciales de descarga. Voltaje de descomposición .....	174
2.4.2. Parámetros prácticos que afectan al proceso de EDM.....	176
<b>2.5. Fundamentos químicos del color.....</b>	<b>179</b>
2.5.1. Coloración de los Metales: Recetas químicas históricas .....	179
2.5.2. El color en la Ciencia Química.....	198
<b>2.6. Velocidad de reacción.....</b>	<b>212</b>
2.6.1. Estabilidad de los productos de reacción: Pasivación.....	213
<b>2.7. Aspectos de seguridad.....</b>	<b>214</b>
<b>3. INVESTIGACION APLICADA: COLORACION DE METALES.....</b>	<b>217</b>
3.1. Tratamientos previos .....	223
3.2. Color real con recetas seleccionadas.....	229
3.2. Clasificación de las recetas históricas por colores .....	259
3.3. Desarrollo de nuevas recetas.....	286
3.3.1. Aplicación de recetas y sus condiciones.....	301
3.3.2. Búsqueda de nuevos colores .....	309
3.4. Pincel electroquímico .....	327
3.5. Tratamientos de pasivación .....	331
3.6. Pruebas de envejecimiento .....	336
3.7. Paleta de color.....	352
<b>4. INVESTIGACION APLICADA: COLORACION DE SOPORTES .....</b>	<b>363</b>
4.1. Tipos de soportes.....	363
4.2. Preparación de soportes.....	364
4.2.1. Soportes de metal.....	364
4.2.2. Soportes de madera .....	365
4.2.3. Soportes de tejidos naturales y sintéticos .....	379
4.2.4. Otros soportes .....	380
4.3. Aparejos y cargas .....	382
4.4. Aplicación de recetas y sus condiciones.....	393
<b>5. APLICACION PRACTICA DE RESULTADOS.....</b>	<b>407</b>

<b>5.1. Obra gráfica.....</b>	<b>407</b>
5.1.1. Dibujo 1 .....	407
5.1.2. Dibujo 2 .....	408
<b>5.2. Obra pictórica.....</b>	<b>409</b>
5.2.1. Pintura 1.....	409
5.2.2. Pintura 2.....	410
5.2.3. Pintura 3.....	411
<b>5.3. Obra escultórica .....</b>	<b>412</b>
5.3.1. Escultura 1 .....	412
5.3.2. Escultura 2 .....	413
5.3.3. Escultura 3 .....	414
5.3.4. Escultura 4 .....	415
5.3.5. Escultura 5 .....	416
<b>6. RECETAS Y COLORES.....</b>	<b>417</b>
<b>7. CONCLUSIONES .....</b>	<b>439</b>
<b>8. BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>449</b>
8.1 Libros .....	449
8.2. Monografías y Tesis Doctorales .....	454
8.3. Páginas WEB's .....	457
<b>9. GLOSARIO DE TERMINOS.....</b>	<b>461</b>
<b>10. DIRECTORIO DE CASAS COMERCIALES .....</b>	<b>465</b>
<b>INDICE: TABLAS Y FIGURAS.....</b>	<b>469</b>
Tablas.....	469
Figuras .....	471



## INTRODUCCION

La existencia de seres humanos sobre la Tierra se remonta a miles de años, según numerosos restos arqueológicos encontrados en diversos continentes, cuya datación más antigua los ubica entre 60.000 y 40.000 años atrás, periodo que está englobado dentro del Paleolítico Medio, según se recoge en la Figura 1<sup>1</sup>.

El hombre primitivo debió hacer vida nómada, basando su sustento en la depredación animal y vegetal, refugiándose de las inclemencias del tiempo en cuevas naturales (en las que se han conservado manos estarcidas sobre sus paredes y arte rupestre) o que ellos mismo pudieran construir de modo precario (con ramas, piedras y tierra) que por su estructura y composición no se han conservado. La observación de los fenómenos naturales, como la lluvia, los astros, los terremotos, huracanes y mareas, los rayos y los incendios que estos provocasen debió despertar su asombro/miedo y a intuir que algún ser superior generaba todos estos fenómenos naturales que llegarían a identificar con dioses sobrenaturales (el dios Rayo o el dios Viento, por ejemplo). Además, la observación de la caída de meteoritos (piedras y metales) desde lo alto de la atmósfera pudo alimentar su posible creencia de que la bóveda del cielo era pétreo, que al romperse hacía caer estos meteoritos, que con cierta frecuencia percibirían como un material duro pero manejable que podían modelar por golpeo con piedras, al igual que tallaban pequeñas figuras de marfil, piedras calizas y otros materiales a su alcance. También trabajaron fragmentos de metal nativo encontrados sobre la superficie terrestre, de oro, cobre o plata, metales que nuestros ancestros han conocido desde épocas muy remotas.

El fuego procedente de incendios fortuitos de la naturaleza originados por rayos, debió facilitar su conservación cuando se percataran que podían alimentarlo con ramas secas, lo que facilitaría el cambio de su dieta alimentaria, la disponibilidad de hogueras para protegerse del frío y como elemento de defensa frente a animales. La tierra húmeda (barro) apilada en torno a la hoguera se endurecía, iniciándose poco a poco con el paso de los siglos y milenios, el descubrimiento del barro cocido y de la cerámica, así como la transformación de algunas *tierras* y *piedras* (minerales) situadas alrededor de la hoguera en algún material fluido, que hoy identificamos como plomo, mercurio o cobre. Todas estas observaciones debieron aportar a algunos seres humanos la idea de que ellos podían transformar la materia con sus manos, sin que pudieran dejar constancia de sus logros más que de modo directo a su entorno y a través de las reliquias que suponen pequeños trabajos que se han conservado y encontrado. Todo este periodo constituye lo que conocemos como Prehistoria de la humanidad que comprende desde el origen del hombre hasta la aparición de los primeros testimonios escritos, que solo puede reconstruirse a través de deducciones racionales o especulativas basadas en restos arqueológicos y geológicos que se han ido descubriendo y datando con tecnología moderna. La Prehistoria

---

<sup>1</sup> Elaboración propia

finaliza cuando se inicia la escritura, aunque fuera muy incipiente, de signos grabados sobre trozos de barro o tablillas, piedras o cualquier otro soporte. Es a partir de entonces cuando se empieza a dejar constancia de los recuerdos que transmiten las personas de mayor edad, que evidentemente quedan deformados en la cadena de transmisión, principalmente oral, de sus ancestros. En consecuencia, todo periodo anterior, y próximo, a la aparición de la escritura solo puede reflejar relatos de una realidad construida sobre épocas pasadas no vividas por quien la escribe, pero que sin duda transmite una información que condiciona el pensamiento humano del entorno que tiene acceso a la misma.

Así aparece el relato sobre el hombre más remoto del que se tiene referencia escrita con grafismos, Adán, que algún primer relator le atribuye ser el primer ser humano y además le asigna el haber sido creado por Dios. Y de este modo aparecen relatos que hacen referencia a sus descendientes, a los que asignan largos periodos de vidas. Figura 2<sup>2</sup>.

Cada periodo, tanto de la Prehistoria como de la Historia, presenta singularidades que conforman una trayectoria específica del pensamiento del ser humano, pudiendo encontrarse en cada período las principales raíces del desarrollo de las civilizaciones y en particular sobre el conocimiento de la materia, que ha sido una preocupación permanente de los pensadores a lo largo del tiempo. Los relatos del Génesis incluyen los elementos que dieron lugar, a nuestro juicio, a la aparición de la filosofía alquimista, cuyo objetivo principal ha sido, y sigue siendo, la obtención de la Piedra Filosofal como medio para alcanzar la sabiduría y la longevidad, siendo la transmutación de los metales la prueba de confirmación de haber llegado a ella. Muchos falsos alquimistas, conocidos como arquimistas, solo estuvieron interesados en la transmutación de los metales para convertirlos en oro como medio para enriquecerse.

Hasta el siglo XVII todos los oficios, incluidos los artesanos-artistas, solamente podían apoyarse en procedimientos empíricos fruto de sus propias experiencias, que las mantenían en secreto y solamente la transmitían a sus familiares, predominando el ocultismo de los procedimientos que realizaban los alquimistas en sus Laboratorios. La Alquimia ha sido una fuente de conocimiento importante, aunque muy limitada a grupos de poder civil y religioso, que por su carácter hermético frenaba su expansión hacia niveles distintos de las propias élites y, en todo caso, sobre bases poco firmes si no especulativas. No obstante, contribuyó a notables descubrimientos en diversos campos, como fueron los desarrollos de cerámica, fundición, coloración con tintes, etc. El método científico, basado en la experimentación, surge principalmente a partir del siglo XVII, teniendo como pilar básico el descubrimiento de la estructura de la materia y, con ello, la predictibilidad de su comportamiento.

---

<sup>2</sup> Elaboración propia

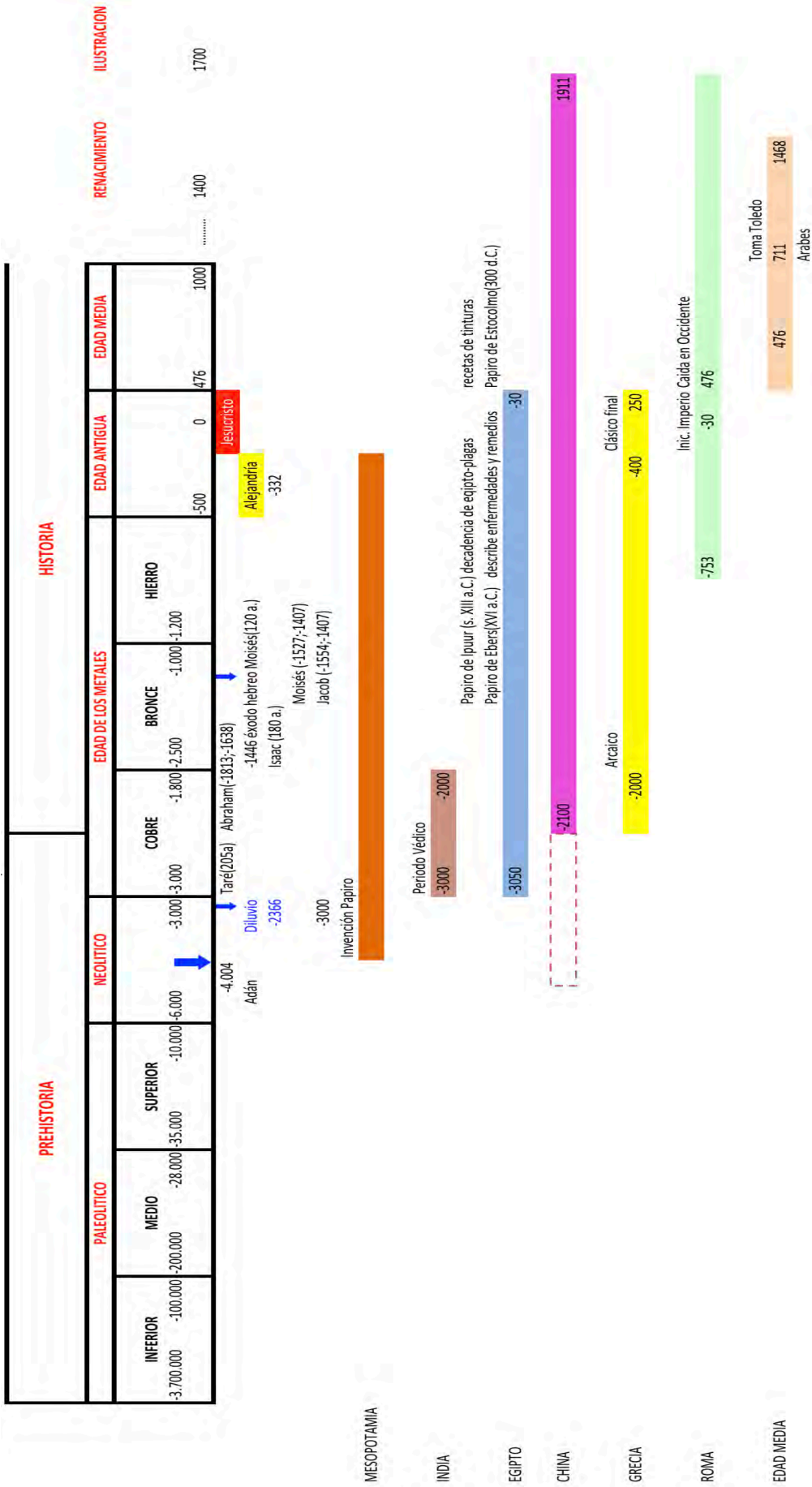


Figura 1. Esquema temporal de la Prehistoria e Historia

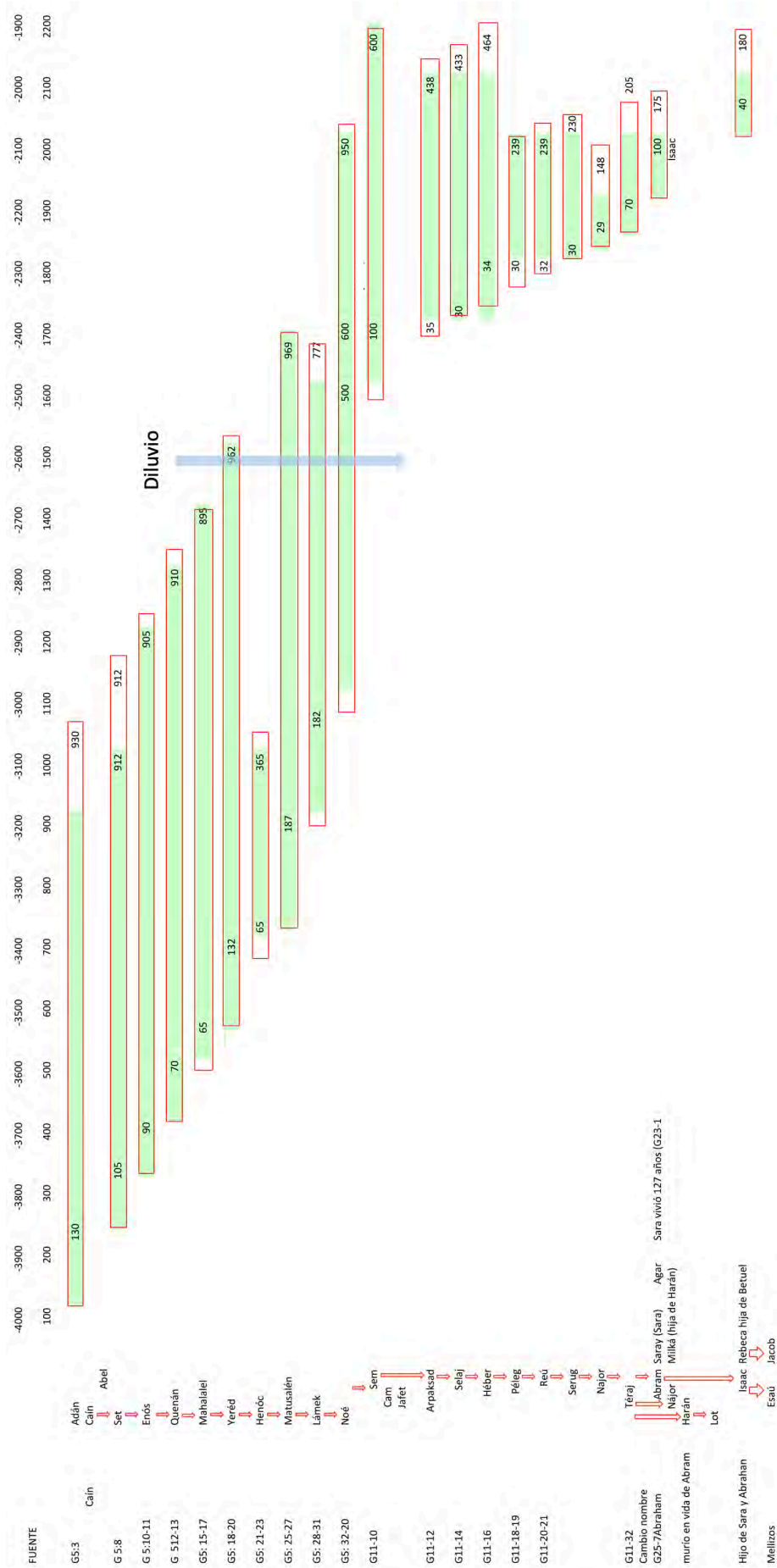


Figura 2. Cronograma de los primeros habitantes según Génesis

Este trabajo se ha enfocado hacia el conocimiento de la materia, y en particular, de los metales, al representar estos más del 80% de todos los elementos químicos conocidos. Para ello se ha tratado de conocer el origen y condicionantes que ha rodeado el uso de los metales en el pasado, para destacar a partir de esa experiencia, la evolución de los principales descubrimientos que han permitido llegar al conocimiento científico del átomo como medio para predecir su comportamiento y propiedades generales y específicas, centrando el esfuerzo en la obtención de color por ataque químico de soportes metálicos habitualmente utilizados, y utilizables, en las artes plásticas. Específicamente en pintura y escultura. El uso de colores ha acompañado al ser humano desde su propia existencia, como lo demuestran las pinturas rupestres y las cerámicas más antiguas que se han podido recuperar en numerosos descubrimientos arqueológicos repartidos por toda la Tierra.

Se trata por lo tanto de poner en valor el conocimiento de la materia como elemento impulsor de la creatividad artística, estableciendo procedimientos innovadores para la propia expresión artística.

Los filósofos siempre necesitaron elaborar teorías que dieran respuesta a los fenómenos naturales, configurándose poco a poco -con el uso exclusivo del razonamiento- el concepto de átomo como elemento básico de la materia, que se ratifica y profundiza cuando se establece el método científico en las investigaciones. El átomo está constituido por un núcleo que alberga partículas elementales con masa (protones con carga eléctrica positiva, y neutrones) y un conjunto de electrones (con carga negativa) que le rodea, organizados en estructuras específicas de cada elemento. Este modelo tan simplista puede aportar al artista conocimiento suficiente como para predecir y justificar las propiedades de la materia a su disposición para el desarrollo de sus obras.

Las leyes que rigen la movilidad de los electrones facilitan que, en determinadas condiciones, puedan desplazarse los mismos para unirse a otros átomos para formar conjuntos globalmente más estables (moléculas) que aporten un color deseado y generado in situ, que poco tiene que ver con la utilización de pigmentos convencionales.

La movilidad de los electrones es particularmente más elevada en los denominados elementos metálicos del Sistema Periódico, sobre los que se pretende centrar el desarrollo de esta investigación aplicada, con el objetivo principal de encontrar nuevos procedimientos que permitan generar color en soportes adecuados para la realización de obra plástica.

El trabajo se ha estructurado en dos conjuntos relacionados entre sí, uno general más teórico e informativo, y otro con mayor contenido técnico-práctico. Para ello se han estructurado siete **epígrafes** específicos siempre referidos a la Tabla de Contenido. En el **epígrafe 1** se recogen antecedentes relacionados con el uso de los metales desde la propia existencia del ser humano sobre la Tierra, tratando de apuntar elementos que han situado algunos metales en foco de atención prioritaria durante varios siglos, como ha sido la Alquimia, que además ha aportado descubrimientos no

científicos -pero sí prácticos- en diversas áreas del conocimiento, al margen de ser el origen de la Química como ciencia moderna. También se abordan en este primer epígrafe una reseña sobre la historia del color a través de las pátinas y conceptos básicos sobre la estructura de la materia como antecedentes que permiten centrar, ya en **epígrafe 2**, la esencia de la estructura de la materia a través de los modelos atómicos más reciente como herramienta de análisis y predicción de las propiedades de todos los elementos químicos del Sistema Periódico y de sus combinaciones. Pero no se han querido abordar, por su complejidad y ausencia de elementos prácticos para el objetivo de esta tesis, las últimas tendencias sobre la estructura de la materia, actualmente en fase de investigación: iniciada por De Broglie en 1924, defendió que un haz de electrones presenta simultáneamente características de partícula material y de onda electromagnética, dando pie a Erwin Schrödinger en 1926 a formular un modelo matemático para predecir la probabilidad de localizar a los electrones en el entorno del núcleo atómico<sup>3</sup>, que Paul Dirac [Premio Nobel de Física en 1933, compartido con Erwin Schrödinger] cuantificó y proporcionó correcciones relativistas al anterior modelo de Schrödinger, dando lugar a una teoría cuántica de campos<sup>4</sup>. Se incluyen también en este segundo epígrafe algunos fundamentos sobre el color y los procesos que han sido habituales en Química analítica porque abren caminos para explorar nuevas recetas para colorear metales para, por último, recopilar una selección de recetas químicas históricas, nacidas o no de la Alquimia, procedentes de diversas fuentes.

El **epígrafe 3** aborda la investigación aplicada a la coloración de metales en toda su amplitud, desde el pretratamiento de probetas de metal hasta su coloración con las recetas históricas seleccionadas, habiendo sido clasificadas las mismas por colores que – según las fuentes originales utilizadas- producen, constatándose que con gran frecuencia no producen los efectos que se anuncian. A partir de toda esta información se ha procedido a una selección más precisa, y en su caso a reformulación o desarrollo *ex novo*, de recetas para asegurar la obtención de colores definidos, explicitando las condiciones que deben aplicarse para garantizar su repetitividad y conservación por fijación del color para hacerlo estable en el tiempo.

En el **epígrafe 4** se analizan soportes, aparejos y cargas habituales en las artes plásticas y se someten a tratamientos para hacer posible su coloración con las recetas químicas desarrolladas y probadas en el epígrafe anterior, mostrando los resultados obtenidos en las pruebas de color realizadas, procediéndose a su conservación por

---

<sup>3</sup> Heisenberg ‘desmontó’ el modelo de Bohr al llegar a la conclusión de que es imposible establecer con precisión la posición y la energía del electrón. Einstein cuantificó la relación existente entre materia y energía, habiéndose desarrollado teorías sobre las posibilidades que tienen las partículas materiales para comunicarse entre sí intercambiando unas partículas mensajeras denominadas bosones, responsables de la organización jerárquica de la materia. Están abiertos en la actualidad campos de investigación sobre los quarks, campos de bosones de Higgs, materia oscura y energía oscura, así como anti-átomos generados por antiprotones y positrones.

<sup>4</sup> Los modelos atómicos tradicionales, que son los que se recogen en esta tesis, no abordan las interacciones que tienen lugar dentro del núcleo atómico (formados por partículas más elementales como los quarks), pero ello no afecta a la validez de la estructura electrónica -externa al núcleo- que es la que proporciona las propiedades químicas de la materia.

pasivación, y a su contraste final con ensayos específicos en Cámara de envejecimiento acelerado.

En el **epígrafe 5** se muestra la aplicabilidad práctica de los procesos de coloración probados y desarrollados tanto en dibujo, en pintura y en escultura, pasándose a continuación al **epígrafe 6** de Recetas Utilizadas en el que se recoge la relación de todas las recetas, tradicionales y desarrolladas en este trabajo, con los colores que generan sobre distintos metales para pasar, ya en el **epígrafe 7**, a las Conclusiones que cimentan esta Tesis doctoral en el ámbito de las artes plásticas

Se han recopilado en los **epígrafes, 8, 9 y 10** la Bibliografía, recomendada y citada, el Glosario de términos y un Directorio de casas comerciales respectivamente, como información que puede resultar de interés para el seguimiento y ampliación de los temas abordados en esta tesis. Finalmente se ha incluido un **Índice** de Tablas y Figuras para facilitar su localización.



# 1. ANTECEDENTES

## 1.1. Prehistoria del hombre y los metales

Los evolucionistas atribuyen la creación del universo al denominado “Big Bang” que produjo la expansión de una densa nube de hidrógeno y helio hace unos 15.000 millones de años a partir de la que se fueron formando, con la aportación de energía, los elementos químicos con masa que constituyen la Naturaleza misma. Teorías más modernas, como la del “ambiplasma” compite con la teoría del “Big Bang”, apuntando hacia una antigüedad del universo muy superior. En el caso particular en la Tierra, la atmosfera estaba constituida por hidrógeno, vapor de agua, metano y amoníaco, productos que facilitaron la construcción de moléculas carbonadas más complejas, llamadas polímeros, que formaron aminoácidos, proteínas y cadenas de ADN, indispensables para la vida. El mineral de la Tierra más antiguo que se conoce es la zirconita<sup>5</sup>, que junto a restos de algunos meteoritos encontrados, permiten asignar a la Tierra una edad próxima a los 4.500 millones de años<sup>6</sup>.

El periodo más lejano que interesa considerar en de este trabajo de investigación es el Paleolítico, que desde una óptica geológica se desarrolla en la era cuaternaria superior, en la glaciación Würm. El Paleolítico corresponde a la Edad Antigua de la Piedra, que abarca desde 3,7 millones de años hasta 10000 a.C., que por su amplitud suele dividirse en tres periodos: Inferior (hasta 200000 a.C.), Medio (desde el anterior hasta el entorno del 30000 a.C.) y Superior (hasta el entorno del año 10000 a.C.). Durante estos periodos aparece el hombre habitando la superficie de la Tierra, habiéndose encontrado numerosos restos muy antiguos de homínidos que parecen corresponder a antepasados del hombre, entre ellos, los recientes descubrimientos del 2003 en la isla de Flores (Indonesia) sobre el Homo Florensiensis. Una de las zonas en las que se han encontrado más restos ha sido en China, y muchos de ellos tienen millones de años. Véase<sup>7</sup> Figura 3 y Tabla 1. Las teorías más modernas se inclinan hacia la hipótesis de ser África el primer lugar habitado por nuestros antepasados, en paralelo con China, aunque no se han encontrado aún evidencias suficientes por falta de rastros arqueológicos de épocas tan remotas, salvo los recientes (2013) descubrimientos en Sudáfrica relativos a la especie Homo Naledi, aún en investigación.

---

<sup>5</sup> Wilde, S.A., Valley, J.W., Peck, W.H., y Graham, C.M. *Evidence from detrital zircons for the existence of continental crust and oceans on the Earth 4.4 Gyr ago*. Macmillan Magazines Ltd. Nature 409. 11 January 2001. Pp. 175-178. [Consulta 6-05-2019]. Disponible en: <http://www.geology.wisc.edu/~valley/zircons/Wilde2001Nature.pdf>.

<sup>6</sup> Aubert, M. et al. *“Palaeolithic cave art in Borneo”*. Macmillan Magazines Ltd. Nature 564. :7 de noviembre 2018. Pp.254-257. DOI: 10.1038/s41586-018-0679-9. [Consulta: 27-04-2019]. Disponible en: <http://www.nature.com/articles/s41586-018-0679-9>

<sup>7</sup> Réplica de cráneo del hombre de Pekín en el Museo Paleozoológico de China. [Consulta 25-04-2019]. Disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Homo\\_erectus\\_pekinesis](https://es.wikipedia.org/wiki/Homo_erectus_pekinesis).



Figura 3. Restos arqueológicos del hombre de Beijing

El hombre primitivo fue evolucionando con el tiempo, siendo uno de los elementos diferenciales el volumen del cráneo. Además, dejaron huellas voluntarias que nos permiten conocer e interpretar algunas de sus habilidades. Porque el hecho de dejar voluntariamente sus manos estarcidas, seguramente tenía para ellos una utilidad, pudiendo constituir una escritura de gestos utilizando el soporte de las paredes de las cuevas, pudiendo ser interpretadas mucho más allá de una simple decoración de su hábitat.

Para ellos representaba una forma de expresión, y también de abstracción, nacida de su pensamiento. Se han descubierto huellas, en negativo y en positivo, en distintas partes del mundo, muy alejadas entre sí, que el hombre primitivo dejó en lugares que habitó, como eran cuevas naturales que le permitían protegerse de las inclemencias del tiempo. Algunos ejemplos relevantes se recogen en la Tabla 2, que se refiere a lugares en los que se han encontrado siluetas de manos, todas ellas ejecutadas con técnicas similares.

España cuenta con manos estarcidas con dataciones superiores a 64000 años<sup>8</sup>, como es el caso de la Cueva de Maltravieso (Cáceres) (Figura 4), posiblemente la de mayor antigüedad. Algo similar ocurre con otras pinturas rupestres, como la Cueva de La Pasiega<sup>9</sup> (Cantabria) (Figura 5), y la Cueva de Ardales (Málaga), atribuidas a hombres

<sup>8</sup> Hoffmann, C.D., et al. *U-Th dating of carbonate crusts reveals Neandertal origin of Iberian cave art*. Science. Vol. 359. Issue 6378: 23 Feb. 2018. Pp.912-915. DOI: 10.1126/science.aap7778. [Consulta 12-04-2018]. Disponible en: <https://science.sciencemag.org/content/359/6378/912>.

<sup>9</sup> [Consulta 12-04-2019]. Disponible en: <https://terraeantiquae.com/m/blogpost?id=2043782%3ABlogPost%3A435054>.

Neardentales. La Cueva de Kalimatán, en Borneo, en la que recientemente<sup>10</sup> se ha encontrado una representación figurativa [animal salvaje], datada entre 40000 y 52000 años de antigüedad, anterior a las representaciones que hay en la Cueva de Lascaux<sup>11</sup>, en Francia, datada entre 22000 y 15000 a.C. y, principalmente, la Cueva de Altamira con pinturas datadas entre 16000 a.C. y 13000 a.C., dentro del Paleolítico Superior, de increíble belleza, que parece ser que estuvo habitada varios milenios antes y su datación puede estar sometida a revisión al alza con el nuevo sistema de datación basado en isótopos de Uranio - Thorio. Es significativa la declaración de Pablo Picasso (1881-1973) a la salida de Altamira:

*"Después de Altamira, todo es decadencia"*<sup>12</sup>.

Las Figuras 6 y 7 recogen diversos lugares en donde existen manos estarcidas y pinturas rupestres.

También conviene mencionar las primeras estatuillas talladas en marfil o en piedra, que evidencia la importancia asignada por los primitivos al papel de la mujer, recogiendo algunos ejemplos en la Tabla 3 y en la Figura 8.

---

<sup>10</sup> Aubert, M. et al. "*Palaeolithic cave art in Borneo*". Nature 564. 7 de Noviembre 2018. Pp.254-257. DOI: 10.1038/s41586-018-0679-9

<sup>11</sup> La cueva fue descubierta en 1940. A lo largo de la cueva se pueden observar diversas escenas, que corresponden al periodo Paleolítico Superior, y se enmarcan dentro del estilo franco-cántabro, como la de Altamira.

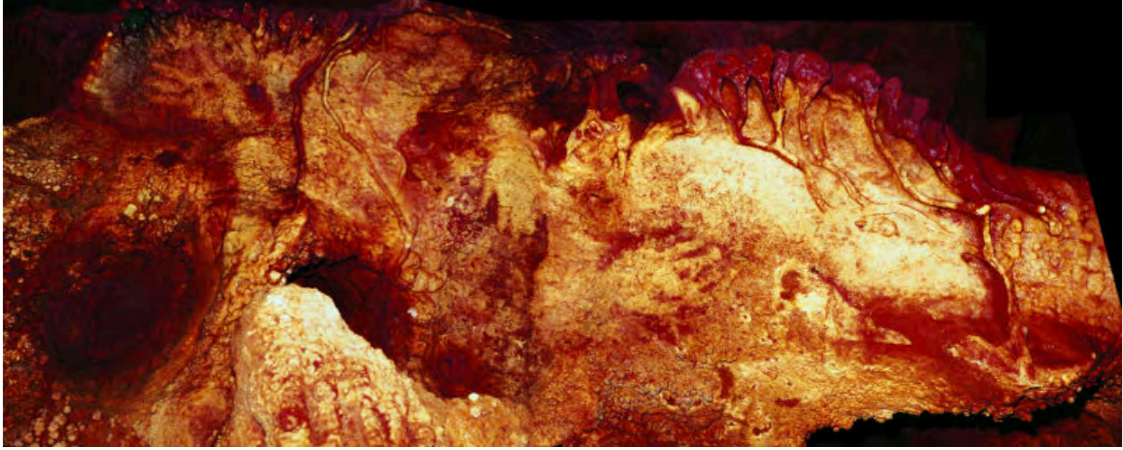
<sup>12</sup> [Consulta 19-08-2018]. Disponible en: [www.reydekish.com](http://www.reydekish.com).

<b>RESTOS HOMINICOS</b>	<b>Descubrimiento</b>	<b>Datación en años</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Renzidong</b>	1998	2.000.000	Paleolítico Inferior
<b>Yuanmou</b>	1965	1.700.000	Dientes fosilizados
<b>Nihewan</b>		1.500.000	Cráneo
<b>Latian</b>	1963	1.500.000	Paleolítico Inferior
<b>Gawis</b>	2006	250-500.000	Cráneo
<b>Nanjín</b>			Cráneos
<b>Mujer</b>		>580.000	
<b>Hombre</b>		300.000	
<b>Beijing</b>	1921-1937	250-500.000	Cráneo
<b>Dali</b>	1978	180-230.000	Cráneo sin mandíbula
<b>Fujian</b>		200.000	Paleolítico Medio
<b>Solo</b>	1931- 1933	130.000	Paleolítico Medio
<b>Dingcun</b>		100.000	Paleolítico Medio
<b>Neardental</b>	1829-1856	>60.000	Paleolítico Medio
<b>Zhoukoudian</b>	1929-1937	18.000	Paleolítico Superior
<b>Homo Sapiens</b>		315.000 - 12.000	Paleolítico Superior
<b>Homo Naledi</b>	2013	>250.000	Esqueletos (Sudafrica)
<b>Homo Floresiensis</b>	2003	60.000- 190.000	9 Esqueletos (Indonesia)

Tabla 1. Datación de restos arqueológicos del hombre primitivo

<b>LUGAR</b>	<b>Datación en años</b>
<b>Maltravieso- Cáceres</b>	>64.000
<b>La Pasiiega-Cantabria</b>	>64.000
<b>El Castillo-Cantabria</b>	>40.000
<b>Altamira-Cantabria</b>	>37.000
<b>Chauvet-Francia</b>	32.000-36.000
<b>Cargas-Francia</b>	27.000
<b>Pech Merle-Francia</b>	25.000
<b>Cosquer-Francia</b>	25.000
<b>Cueva de las Manos Argentina</b>	12.500
<b>Islas Kenceng y Gua Ham Borneo</b>	40.000
<b>Tassili n'Ajjer -Argelia</b>	2,500-7.000
<b>Carnarvon Gorge-Australia</b>	40.000
<b>Karawari- Papua N. Guinea</b>	n.d.
<b>LasBestias y Wadi el-Obeiyd Egipto</b>	7.000
<b>Anasazi-USA</b>	n.d.
<b>Chiribiquete-Colombia</b>	19.500
<b>Loltún-Méjico</b>	4.000
<b>Actun Uyazba Kab, Belize y Catal Huyuk-Turquía</b>	6.000

Tabla 2. Datación de restos arqueológicos con huellas de manos



**Figura 5. Manos de Maltravieso (Imagen: H. Collado)**



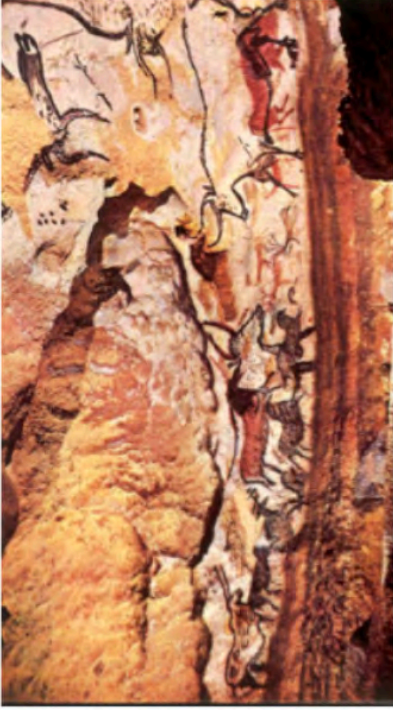
**Figura 4. Figuras en La Pasiega (Imagen: P. Saura)**



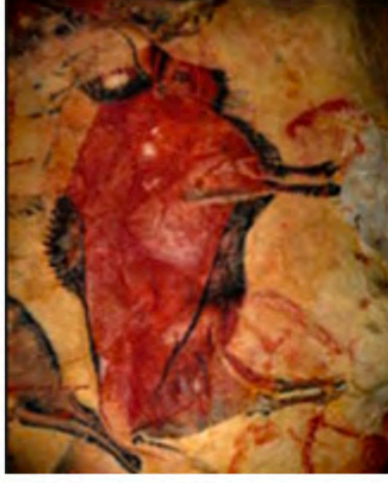
Figura 6. Manos estarcidas en diversos lugares del mundo



Cueva de Kalimatán  
Borneo



Cueva de Lascaux  
Francia



Cueva de Altamira  
España

Figura 7. Pinturas rupestres



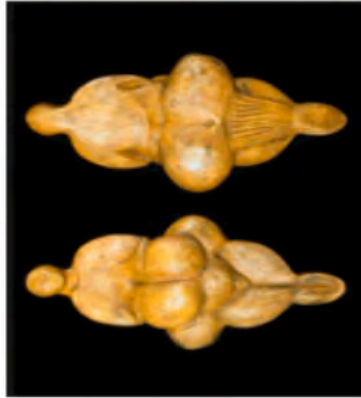
Venus de Höhle Felps  
Alemania



Venus de Laussel  
Francia



Venus de Brassempouy  
Francia



Venus de Lespugue  
Francia



Venus de Willendorf  
Alemania



Venus de Grimaldi  
Italia

Figura 8. Venus talladas

LUGAR	Descubrimiento	Datación en años	Observaciones
Venus de Hohle Fels -Alemania	2008	35.000	Talla en marfil de 6 cm. de altura.
Laussel -Francia	1909	25.000	Piedra caliza
Brassempouy- Francia	1893	26.000	Estatuilla de marfil de mamut con rostro humano (3,5 cm.)
Lespugue- Francia	1922	25.000-28.000	Talla en marfil de colmillo de mamut de 14,7 cm. Museo del Hombre, París.
Willendorf -Alemania	1908	24.000	Figura de 11 cm. de altura en Piedra caliza pintada de rojo
Grimaldi , Italia	1897	22.000	Altura 8,1 cm. Pulimentada con arena

Tabla 3. Dataciones de restos arqueológicos de Venus

Así mismo se han encontrado diversos objetos, como los mostrados en la Figura 9, que son reliquias relativas a modos de expresión de seres humanos primitivos. Son casos, a título de ejemplo, de hallazgos arqueológicos de restos de instrumentos elementales, como es la flauta hecha con colmillo de mamut, que muestran el empleo del sonido como forma de expresión, y posiblemente como defensa para ahuyentar animales, datada entre 42000 y 43000 a.C. ; el fragmento de Bastón de mando<sup>13</sup> de Cantabria, datado entre 25000-16000 a.C., tallado en asta de ciervo ; Bisonte de la Cueva Madelaine<sup>14</sup>, Francia, datada entre 17000 y 10000 a.C. ; Figurilla de Bisonte lamiéndose el dorso, de 10,5 cm. de longitud, tallada en asta de reno ; o el Propulsor de caballo saltando<sup>15</sup>, Francia (15000-13000 a.C.), que es un lanzador tallado en asta de reno.



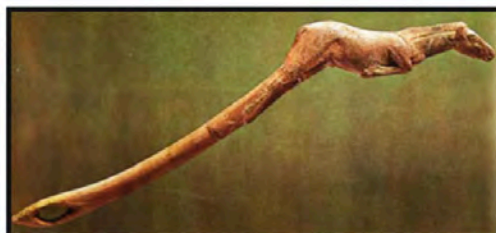
Flauta hecha con asta de mamut  
Alemania



Bastón de mando  
Cantabria



La Madelaine  
Francia



Propulsor caballo saltando  
Francia

**Figura 9. Otros ejemplos de arte primitivo**

<sup>13</sup> Encontrado en la cueva de El Pendo en Cantabria. [Consulta 16-09-2018]. Disponible en: <http://www.europapress.es/cantabria/noticia-hallado-cueva-pendo-fragmento-baston-mando-hace-16000-anos-20180724174537.html>.

<sup>14</sup> Encontrada en la cueva de la Madeleine. Con una cronología imprecisa (entre el 17.000 y el 10.000 a.C.). [Consulta 16-09-2018]. Disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Abrigo\\_de\\_La\\_Madeleine](https://es.wikipedia.org/wiki/Abrigo_de_La_Madeleine).

<sup>15</sup> Fue hallado en 1948 por Bernard Bétirac (L'Anthropologie n°56, 1952).

Todos los materiales empleados por los pueblos primitivos, como puede observarse, se centran en materiales que tenían a su alcance en la naturaleza, como madera -que por sus características prácticamente no se han conservado-, piedra, huesos y también metales nativos, como son oro, plata, cobre y fragmentos de hierro procedentes de meteoritos. De todos ellos el oro, por su color e inalterabilidad, por poderse trabajar por golpeo y también por su escasez, ha sido considerado históricamente el metal más valioso. La joya de oro más antigua que se conoce es un colgante<sup>16</sup>, recogido en la Figura 10, con un peso de 2 gramos y una antigüedad de unos 6.600 años. También se ha descubierto recientemente (Julio 2016) en el mismo emplazamiento, una minúscula cuenta de oro, de solo 4 mm. de diámetro y 0,15 gramos, que pudiera ser incluso anterior, estando pendiente de datación.



Colgante en oro



Cuenta en Oro

**Figura 10. Piezas de oro encontradas en Solnitsata, Bulgaria**

Además de estos materiales, cabe citar la cerámica más temprana que se conoce, tan antigua como 17000 a.C.<sup>17</sup>, en contextos del Paleolítico Superior, ya que por esas fechas se inicia un nuevo periodo prehistórico, denominado Neolítico que se extiende desde el año 10000 a.C. hasta el año 3000 a.C., periodo de gran interés porque en él se producen acontecimientos que marcarán la Historia de las civilizaciones. La Figura 11 muestra una vasija cerámica japonesa conservada en el Museo Arqueológico de Tokio, datada entre 10.000-8000 a.C. (Período Jōmon)<sup>18</sup>.



**Figura 11. Vasija japonesa**

<sup>16</sup> Descubierto en 1972 en el yacimiento de Solnitsata, Bulgaria, considerada la ciudad más antigua de Europa, que ya tenía casas de dos pisos hacia el 4.400 a. C. [Consulta 16-09-2018]. Disponible en: <http://www.ancient-origins.es/noticias-historia-arqueologia/descubierta-bulgaria-la-joya-oro-m%C3%A1s-antigua-europa-003116>.

<sup>17</sup> Li Liu. *Caminos hacia la complejidad social en China*. BOLETÍN DE ARQUEOLOGÍA PUCP / N.º 11, 2007. Pp. 379-403.

<sup>18</sup> [Consulta 28-4-2019]. Disponible en [https://es.wikipedia.org/wiki/Cerámica\\_prehistórica](https://es.wikipedia.org/wiki/Cerámica_prehistórica)

Uno de estos acontecimientos relevantes surge de un acto creativo acontecido en la civilización más antigua, la de Mesopotamia (actuales Siria e Irak), de alcance inimaginable en su época, como fue la materialización de la escritura cuneiforme<sup>19</sup> (3000 a 3500 a.C) sobre tablillas de arcilla<sup>26</sup> (Figura 12), que permitió dejar relatos por escrito de acontecimientos vividos o conocidos por transmisión verbal de sus antepasados.

Estos relatos, reales o no, conforman la memoria histórica más remota y distinta de la que puede intuirse y razonarse a partir de hallazgos arqueológicos. De modo independiente a los pueblos de Mesopotamia, la civilización Yangshao, asentada a lo largo del río Amarillo, ya conoció entre los milenios V y III a.C. el trabajo de la cerámica pintada, en la que se utilizaban grafismos que suponen, o pueden suponer, una forma de comunicación identificable con lo que hoy conocemos como escritura al igual que ocurrió en otros lugares lejanos, que bien pudieron tener conocimiento de esta forma de expresión y crearon su propia simbología para perpetuar la transmisión de conocimiento, como sugiere Douay<sup>20</sup>.

Estos antecedentes constituyen un elemento fundamental porque nace el relato escrito, marcando un hito en la transición de la Prehistoria a la Historia.

---

<sup>19</sup> En Mesopotamia, y concretamente en Sumeria, se practicaba la Ciencia de las Listas, con las que daban fe de la existencia de plantas, animales, dioses, estrellas... fruto de la observación. Fueron grandes astrónomos y matemáticos. Recopilaron sus conocimientos en tablillas de arcilla, en las que plasmaron el zodiaco, el modo de fabricar vidrio y como darle color. Entre otras muchas actividades., fabricaron perfumes y pigmentos, tales como el oropimente (sulfuro de arsénico) y la estibinita (sulfuro de antimonio) que fijaban a la materia con sal o alumbre. Estos procesos los vincularon a rituales religiosos y pusieron énfasis en no revelar el procedimiento, lo que constituye un claro antecedente del hermetismo que siempre acompañaría a la Alquimia.

<sup>20</sup> Douay, N. *La invención de la escritura: Una búsqueda de elevación y de eternidad*. Le Parc "La Belle Idée", 2013. Pp. 7-8. Pp. 20 y 24. [Consulta 15-4-2019]. Disponible en: <https://www.parclabelleidee.fr/docs/productions/invencionescritura.pdf>.



Museo del Louvre, Paris



Tablilla contable de Ur  
Mesopotamia



Tablilla de Fara  
Museo del Louvre, Paris



Pictogramas de Uruk  
Museo del Louvre, Paris

Figura 12. Tablillas cuneiformes

## 1.2. Primeros relatos históricos

Entre los primeros relatos se encuentran los cinco libros que forman el Pentateuco<sup>21</sup>, que los eruditos bíblicos atribuyen casi en su totalidad a Moisés<sup>22</sup>. Precisamente el libro de Génesis permite establecer el periodo de vida de los primeros patriarcas descendientes de Adán, primer hombre creado por Dios para sus relatores, asignando elevadas longevidades a Adán y a sus primeros descendientes<sup>23</sup>, según se pone de manifiesto en la Figura 13. El relato del Génesis permite también vincular la elevada longevidad<sup>24</sup> con los orígenes de la Alquimia, y teorizar sobre la transmutación de los metales, ambos frecuentemente planteados como fines de la Alquimia, cuya definición es compleja como se percibe cuando se analiza su contenido en distintas fuentes:

- *“Conjunto de especulaciones y experiencias, generalmente de carácter esotérico, relativas a las transmutaciones de la materia, que influyó en el origen de la ciencia química y tuvo como fines principales la búsqueda de la piedra filosofal y de la panacea universal”*<sup>25</sup>
- *“La Alquimia constituye, por su complejidad y polifacétismo, uno de los temas del saber más humanísticos, religiosos, filosóficos, psicológicos, ocultistas, artesanales y hasta picarescos del pensamiento y del saber humano”*<sup>26</sup>
- *“La definición que puede aportar una voluminosa enciclopedia, incluso un tratado sobre esta materia, puede dejarnos completamente en ayunas respecto a lo más sustantivo del problema”*<sup>27</sup>.
- 

Debe enfatizarse que muchos de los antecedentes hasta aquí citados no tienen el respaldo científico moderno, lo que no es impedimento para analizar la evolución histórica del pensamiento y comprender las bases sobre las que surgieron notables descubrimientos científicos posteriores. Así, consideramos de interés resaltar:

1. Que la primera referencia histórica que aparece en el relato del Génesis se refiere al supuesto primer hombre Adán<sup>28</sup>. Por evaluación de los años de

---

<sup>21</sup> Denominado así por los estuches cilíndricos donde se guardaban los escritos hebreos, y que se corresponden con los cinco libros de Génesis, Éxodo, Levítico, Números y Deuteronomio.

<sup>22</sup> Moisés con 80 años, junto a su hermano Aarón, visitaron al Faraón de Egipto para pedir la salida del pueblo hebreo. Cuando fue autorizado, tras las plagas de Egipto, el éxodo hacia Canaán duró 40 años, muriendo tras divisar desde el monte Nebó (hoy Jordania) la Tierra Prometida (Palestina). Su vida fue de unos 120 años y puede estimarse que vivió en el periodo (1.527 a 1.407 a. C).

<sup>23</sup> Elaboración propia a partir de datos del Génesis

<sup>24</sup> Génesis 1, 26-27: “Dios creó al hombre a su imagen y semejanza”, posiblemente inmortal.

<sup>25</sup> Real Academia Española [RAE]. Diccionario. 2017.

<sup>26</sup> Pérez Bustamante, J. “El concepto integral de la Alquimia: filosofía de la materia, de la curación y de la trascendencia. Folia Humanística, volumen 26, número 304, 1988.

<sup>27</sup> García Font, J. *Historia de la Alquimia en España*. 10ª Edición. Editorial Nacional: Madrid, 1976. Pp. 13. ISBN: 8427603479.

<sup>28</sup> Génesis 2:7. Creado por Yahveh con arcilla, a la que “insufló en sus narices aliento de vida para que resultara ser viviente”. Este soplo suele identificarse con el alma, de la que se supone carecen otros seres vivos también creados con anterioridad. Entre estos seres vivos están las plantas y los animales,

vida de su descendencia con la primera mujer, Eva, nos ha permitido ubicar su existencia entre los años 4000 a.C. y 5000 a.C., es decir, a mediados del Neolítico. Lo que supone una evidente contradicción con los restos arqueológicos ya mencionados con dataciones confirmadas de más de 40.000-60.000 años de antigüedad.

2. Que la duración de la vida<sup>29</sup>, según recogen los primeros relatos, era tan extensa que Adán, al que asignan una vida de 930 años de duración, hubiera podido conocer a todos sus descendientes durante nueve generaciones, incluido Laméc padre de Noé. Y Noé, a su vez, llegó a coincidir supuestamente con todos los descendientes de Adán, salvo Abel que se relata fue asesinado por Caín, lo que supone llegar a conocer a diez generaciones, incluido Abrahán. La citada Figura 13 muestra las edades de los principales Patriarcas Bíblicos.
3. Es cuestionable la duración de los años referenciados en la época prediluviana, pero existen estudios precisos que determinan que la medida del tiempo en la antigüedad era similar al actual calendario gregoriano, como se recoge en la obra de Ussher<sup>30</sup> (1581-1656), publicada en 1650 y traducida en 2003 al inglés moderno.
4. Que el relato bíblico cita la existencia de dos árboles distintos en el Jardín del Edén<sup>31</sup>: El árbol de la ciencia del bien y del mal [simbolizado para los creyentes en el manzano] que era el prohibido<sup>32</sup>, y el árbol de la vida<sup>33</sup>, con la propiedad de dar fruto todos los meses del año, cuyas hojas -dicen los relatos bíblicos- curaban las enfermedades. La comida del fruto prohibido puso de manifiesto el riesgo de que también comiera el hombre del árbol de la vida y así fueran eternos. Y por ello, según el relato, fueron expulsados del Jardín del Edén. Este relato puede haber inspirado el nacimiento de la

---

existiendo creencias entre los alquimistas que defienden que también los metales son seres vivos que evolucionan lentamente con el tiempo en el seno de la Tierra hasta alcanzar la forma metálica más perfecta, el oro. De aquí el origen de la buscada transmutación de los metales al oro.

<sup>29</sup> Estimaciones propias haciendo un cronograma con las edades referenciadas en el Génesis 5, 9, 11 y 25.

<sup>30</sup> Ussher, J. *The Annals of the World*. Ed. Master Books.2003. Pp. 17-23. ISBN: 0890513600

<sup>31</sup> Juris Zarins, arqueólogo americano-letón, Profesor de la Universidad de Missouri, lo sitúa en la cabeza del Golfo Pérsico, entre las desembocaduras de los ríos Tigris y Eufrates. [Consulta: 15-4-2019]. Disponible en: [https://en.wikipedia.org/wiki/Juris\\_Zarins](https://en.wikipedia.org/wiki/Juris_Zarins).

<sup>32</sup> Génesis 2:16-17: "Y Dios impuso al hombre este mandamiento: De cualquier árbol del jardín puedes comer, mas del árbol de la ciencia del bien y del mal no comerás, porque el día que comieres de él, morirás sin remedio".

<sup>33</sup> Génesis 3:22-24: "Y dijo Yahvé Dios: He aquí que el hombre ha venido a ser como uno de nosotros, en cuanto a conocer el bien y el mal! Ahora pues, cuidado, no alargue la mano y tome también del árbol de la vida y comiendo de él viva para siempre. Y le echó Yahveh Dios del Jardín de Edén, para que labrase el suelo de donde había sido tomado".

Alquimia, tema que pudo conocer Adán desde su propia *creación*, por lo que puede inducirse que conociera por revelación divina esa 'Piedra Filosofal'<sup>34</sup> que era el árbol de la vida y que transmitiera ese conocimiento a sus descendientes. De aquí pudiera haber nacido la creencia de llegar a la Piedra Filosofal utilizando como materia prima la materia vegetal.

5. Que se relata la existencia de un diluvio, que hemos podido ubicar sobre el año 2366 a.C., fecha muy próxima al final del Neolítico y principios de la Edad de los Metales, concretamente del Calcolítico. Distintas culturas, en zonas de la Tierra muy distantes entre sí, relatan también situaciones parecidas, atribuidas a distintas causas, pero bastante coincidentes en los supuestos hechos<sup>35</sup>.
6. Tras el diluvio hubo una evidente concentración génica: la procreación tuvo que producirse entre un número reducido de miembros de una misma familia, la de Noé - según se relata - y sus tres hijos en cuanto a varones se refiere y sus respectivas mujeres, todos ellos tendrían una genética trazada desde Adán y Eva. De ser así, se pudieron provocar 'cuellos de botella génicos' que afectaron de modo negativo a la longevidad de las nuevas generaciones, detectada por la brusca caída en el promedio de vida después del diluvio. Raul López escribe sobre la deriva génica en los siguientes términos:

*"sugiere [...] un decaimiento exponencial [...] que se observa con frecuencia en la naturaleza [...] es la curva de decaimiento por deriva génica [...] que la vemos cuando los organismos vivos son expuestos a dosis letales de sustancias tóxicas o a radiaciones. Dado que es poco probable que quienes vivieron en los tiempos pre-diluvianos estuviesen familiarizados con las curvas de decaimiento exponencial es, por lo tanto, poco probable que estas fechas fuesen inventadas. [...] El registro fósil revela que antes del diluvio la mayor parte de la tierra parece haber tenido un tipo tropical de medio ambiente. Después del diluvio se produjo un claro cambio ambiental que resultó en la era de hielo que cubrió casi el 30 por ciento de la tierra (principalmente en las latitudes del norte). Esto, junto con otros cambios después del diluvio, pudo haber afectado el promedio de vida de manera adversa"*<sup>36</sup>.

---

<sup>34</sup> También denominada Medicina Universal.

<sup>35</sup> Los sumerios, cuya época de esplendor se sitúa entre el segundo y tercer milenio a.C., citan una gran inundación, confirmada con pruebas halladas en las excavaciones arqueológicas de Ur llevadas a cabo entre 1922 y 1929. [Consulta: 15-4-2019]. Disponible en: <https://www.muyhistoria.es/curiosidades/preguntas-respuestas/avala-la-historia-el-diluvio-universal-771398067544>.

<sup>36</sup> López, R. *The Antediluvian Patriarchs and the Sumerian King List* [Los patriarcas antediluvianos y la lista de los reyes sumerios]. CEN. Technical Journal 12, no. 3., 1998. pp. 347–357.

Estudios recientes de huesos fosilizados de la Cueva El Sidrón<sup>37</sup> en Asturias ponen de manifiesto que la especie Neandertal pudo desaparecer hace 40.000 años por acumulación de anomalías génicas derivadas de la endogamia entre miembros de la misma familia.

7. El libro del Génesis<sup>38</sup> pronostica que los días de vida del hombre tras el diluvio serán ciento veinte años. Sin embargo, desde que el ser humano tiene pensamiento ha idealizado su existencia creyendo ser inmortal como autodefensa frente a la muerte. Cada cultura ha buscado mecanismos que le permitan encontrar una continuidad más allá de la vida terrenal, apareciendo así religiones cuyos representantes manifiestan creer en un futuro. Y no es extraño que a lo largo de la historia hayan sido los líderes religiosos los que han desarrollado y alimentado todo aquello que paliara esta inquietud interior, que en las antiguas culturas –con distintos matices, pero con similares bases- encontraron en la Alquimia un medio para alcanzar la supuesta inmortalidad y, de paso, también la riqueza terrenal materializada en la transmutación de los metales en oro.

La Alquimia se alimenta de toda esta concepción. Como señala Fulcanelli:

*“El debilitamiento de la energía vital, fase normal y característica de decrepitud, de senilidad del metal, es un claro signo precursor de su muerte próxima. Pero puesto que la muerte, corolario de la vida, es la consecuencia directa del nacimiento, de ello se sigue que los metales y minerales manifiestan su sumisión a la ley de predestinación que rige a todos los seres creados. Nacer, vivir, morir o transformarse son los tres estadios de un periodo único que abarca toda la actividad física. Y como esta actividad tiene por función esencial renovarse, continuar reproduciéndose por generación, llegamos a la conclusión de que los metales llevan en sí, al igual que los animales y los vegetales, la facultad de multiplicar su especie [...] porque toda cosa lleva semilla. Los animales nacen de un huevo o de un óvulo fecundado; los vegetales provienen de un grano que se ha hecho prolífico; y, al igual, los minerales y los metales tienen por semilla un licor metálico fertilizado por el fuego mineral”<sup>39</sup>.*

---

<sup>37</sup> Ríos, T. et. al. “Skeletal anomalies in the neandertal family of El Sidrón (Spain) support a role of inbreeding in neandertal extinction”. Scientific Reports. DOI: 10.1038/s41598-019-38571-1, 2019. [Consulta: 1-3-2019]. Disponible en: <http://paleontologia-y-evolucion-ucm.blogspot.com/2019/02/>. Disponible también en: El Mundo, 9 -2- 2019, Pp. 31.

<sup>38</sup> Génesis 6: 1-4.

<sup>39</sup> Fulcanelli. *Las Moradas Filosóficas*. Ed. Plaza y Janés: Barcelona, 1971. Pp. 96 y 154. ISBN: 840131013X

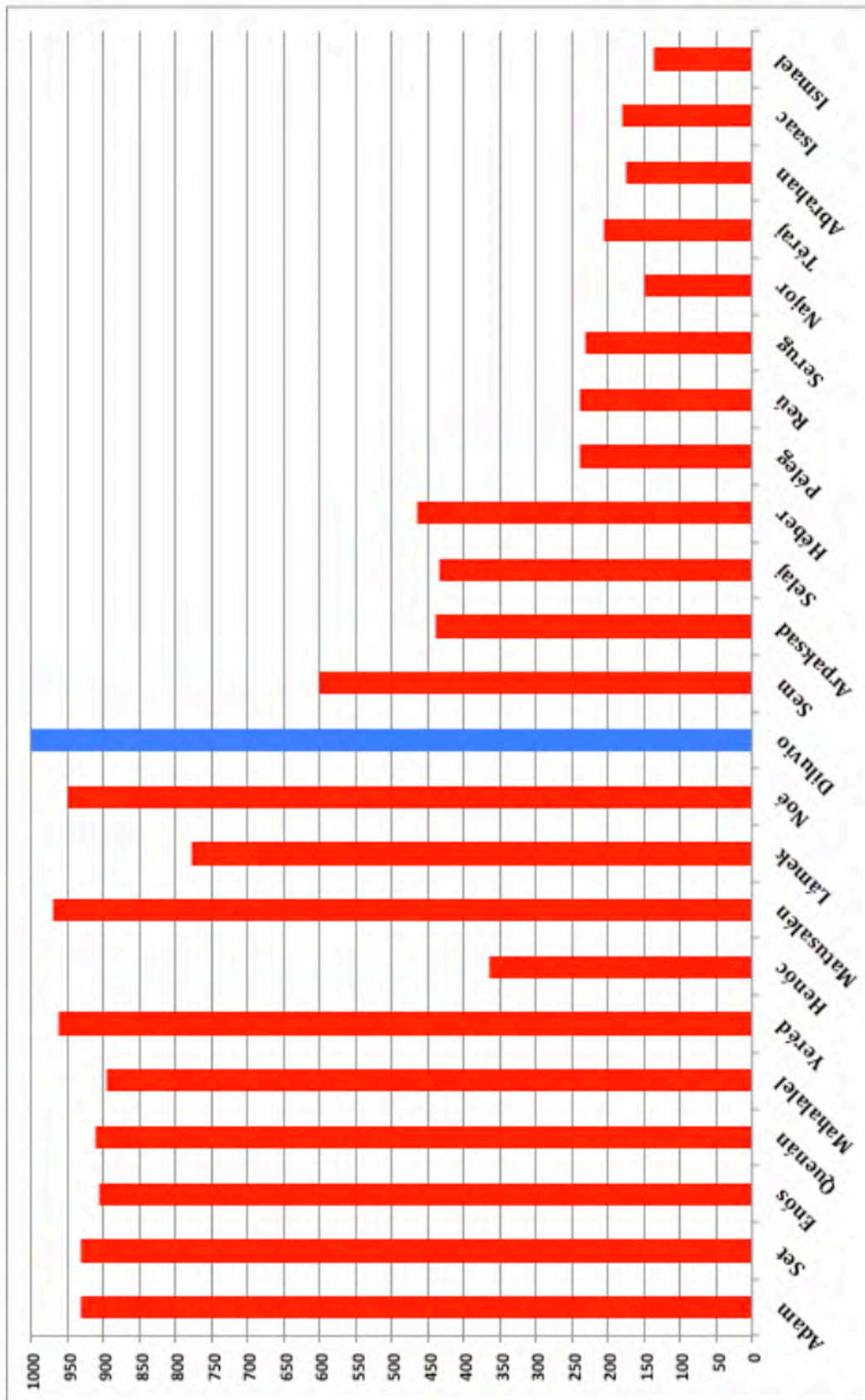


Figura 13. Edades de los principales Patriarcas Bíblicos

Además, la Alquimia estuvo siempre rodeada de un absoluto hermetismo, y lo poco que se escribió se limitaba a formas de operar, con un lenguaje inundado de simbología. Un ejemplo es el libro de Alquimia "Mutus Liber"<sup>40</sup> (Libro Mudo), que contiene en 15 láminas las etapas a seguir para crear la Piedra Filosofal. Figura 14.

La preocupación del ser humano por alcanzar la inmortalidad no ha cesado, como muestra el californiano Ettinger <sup>41</sup> (1918-2011) con la creación del Criogenics Institute con el objetivo de conservar el cuerpo tras la muerte en un baño de nitrógeno líquido, pensando que el propio desarrollo científico permitirá en unos años devolverle la vida. En la actualidad<sup>42</sup> se estima que existen unos 2000 cuerpos criogenizados con este propósito, no exento de controversias morales y económicas.

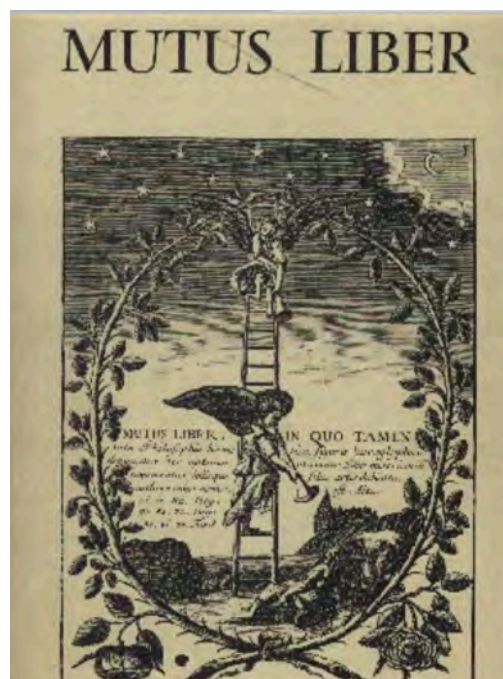


Figura 14. Mutus Liber

### 1.3. Edad de los metales

La Edad de los Metales se inicia con el Calcolítico, o Edad del Cobre, de un milenio de duración, a la que sigue la Edad del Bronce, con 1,5 milenios y la Edad del Hierro, que se inicia en torno al año 1200 a.C.

*“Antes de que el ser humano se hiciera metalurgista fue fabricante de instrumentos de sílex [...]. Se hará después ceramista, tras un milenario proceso de aprendizaje indispensable para la identificación y selección de la greda más adecuada para la confección de utensilios. Se puede postular que de la observación de la greda empleada antes y después de la cocción se percatara empíricamente de que no solo cambiaba de color sino también en su consistencia, y por ello es posible pensar que éste sea el lejano*

<sup>40</sup> Publicado en Francia en 1677, atribuido al boticario francés Isaac Baulot, contiene las etapas a seguir para crear la Piedra Filosofal. Original depositado en la Biblioteca del Congreso de EE.UU.

<sup>41</sup> Ettinger, R.C. *The Prospect of Immortality*. Ed. Charles Tandy. University Press, 1962. ISBN 978-1-934297-21-6.

<sup>42</sup> Benítez, J. *Ética y Leyes sobre los cadáveres congelados*. El Mundo, 18 -2- 2019. Pp. 26.

origen de la creencia inicial de que contaba con el poder de cambiar la materialidad del mundo”<sup>43</sup>.

De hecho, la adquisición de experiencia en el manejo del fuego les permitió avanzar en la práctica metalúrgica.

### 1.3.1. Edad del Cobre

Tubal Caín<sup>44</sup> podría haber sido el primer forjador de metales, posiblemente de cobre nativo encontrado en la tierra y también de hierro procedente de algún meteorito, lo que haría moldeando el metal por golpeo en frío.

El objeto de cobre más antiguo hallado hasta la fecha es un colgante perforado de 2,5 cm. encontrado en la Cueva de Shanidar (montes Zagros, Irak), datado en el año 9500 a.C. En una localidad turca Cayonu Tepesi (Anatolia), se encontraron cuatro objetos de cobre que datan del año 7200 a.C. y constituye una segunda prueba de utilización del cobre. En la cuenca del Danubio se han encontrado herramientas de cobre que se remontan al año 4500 a.C. y otros objetos de este mismo metal datados en el año 2500 a.C. en la India, así como un punzón de cobre<sup>45</sup>. En Argentina se descubrió<sup>46</sup> una máscara de cobre producida por golpeo de cobre nativo, datada en 3000 a.C., y en la isla griega de Creta un lingote de cobre<sup>47</sup> de la época minoica. Véase<sup>52, 53, 54</sup> Figura 15.

Ya en los primeros siglos posteriores a la relatada presencia de Adán y Eva se descubrió que el cobre podía ser extraído de sus minerales mediante fundición. Pero la fundición de un metal es un proceso complejo ya que la temperatura para la fusión del cobre es 1.090°C. que requiere una atmósfera reductora para evitar que el metal se oxide. Este descubrimiento debió ocurrir por accidente en el entorno de una hoguera utilizada para cocer el barro, lo que podríamos calificar como los primeros ceramistas, que posiblemente pudieron haber utilizado óxidos de cobre pulverizados para teñir de azul sus primitivas cerámicas; alguno de ellos pudo haberse fijado que la hoguera tenía restos de cobre y al preguntarse de donde provenía logró darse cuenta de su origen.

---

<sup>43</sup> Gallego Badillo, R. y Pérez Miranda, R. *Una aproximación a un análisis histórico y social general de la Alquimia*. Educación Química, vol.25 no.2, México, Abril 2014. [Consulta: 20-12-2018]. Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-893X2014000200004](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-893X2014000200004).

<sup>44</sup> Génesis 4:22. Sexta generación de Caín (el primogénito de Adán y Eva) a través del árbol de descendientes sucesivos Henoc, Irad, Majuyael, Metusael y Lámek. La madre de Henoc, y mujer de Caín, fue la primera de las tres hijas de Adán y Eva llamada Awan (según el libro de Jubileos 4:7, escrito el siglo II a.C.).

<sup>45</sup> Un punzón de cobre, el objeto de metal más antiguo encontrado hasta la fecha en el Medio Oriente, fue descubierto durante las excavaciones de Tel TSAF. [ Consulta: 17-12-2017] . Disponible en: <http://oxlackinvestigaciones.com/2016/09/increible-objeto-de-cobre-mas-antiguo-del-mundo>.

<sup>46</sup> Cortés, L., Scattolin, M.C. *Ancient metalworking in South America: a 3000-year-old copper mask from the Argentinian Andes*. Antiquity: Antiquity Publications ,91 357 ,2017. Pp. 688–700. DOI: 10.15184/aiqy.2017.28

<sup>47</sup> [Consulta 8-05-2019]. Disponible en: [http://www.wikiwand.com/es/Civilización\\_minoica](http://www.wikiwand.com/es/Civilización_minoica)

El lugar más antiguo donde se han encontrado vestigios de fundición de cobre es Tal-I-Iblis, localizado en un valle de la cordillera de Kerman, paralela a los montes Zagros (Irán e Irak). Hacia los primeros siglos del milenio IV a.C., Tal-I-Iblis debió tener una elevada actividad, según se induce del elevado número de crisoles y de objetos de cobre encontrados, lo que apunta incluso a pensar que se fundiera más cobre del que sus necesitaban sus habitantes.

*“Los antiguos metalistas del Próximo Oriente aprendieron a verter el caldo en moldes abiertos de una sola pieza, pero pronto apareció el molde cerrado, generalmente modelado en arcilla”<sup>48</sup>.*

La producción de objetos de cobre resultaba dificultosa y se hacían inservibles con cierta facilidad, por lo que no reemplazó a la piedra ni al hueso. Sólo aquellos con suficiente conocimiento podía permitirse tener utensilios de cobre. Habría que esperar el manejo más eficiente de este metal aleado con otros, como es el bronce (aleación de cobre y estaño y/o arsénico).

---

<sup>48</sup> Rovira, S. *Metalurgia de Crisol: La Obtención de Cobre en la Prehistoria de la Península Ibérica*. De Re Metallica, Vol. 5, 2005. Pp. 87-94. ISSN-e: 1888-8615



**Pepita de cobre**



**Máscara de cobre , Los Andes  
(3000 a.C.)**



**Punzón de 4,1 cm., Jordania  
(5100 a 4600 a.C.)**



**Lingote de cobre minoico, Creta  
(c.a. 3000 a.C.)**

**Figura 15. Objetos antiguos de cobre**

El uso del horno de cerámica propició su perfeccionamiento dando paso a hornos más elaborados, capaces de alcanzar mayores temperaturas. Existen muestras arqueológicas que evidencian el uso de vasijas abiertas de reducción que ya utilizaban hacia el 3200 a.C. para obtener cobre a partir de mineral. Figura 16<sup>49</sup>.



Figura 16. Vasija cerámica de reducción

Posteriormente se pasó a horno cerrado y frecuentemente el combustible y el mineral ocupaban compartimentos separados. El combustible generalmente utilizado era la madera, que fue reemplazado por carbón de leña, más eficaz. Debido al hecho que cuanto más potente sea la ventilación la temperatura que alcanza el fuego es mayor, se construyeron toberas para avivarlo. Posteriormente se inventó el fuelle, que permitió a los metalistas elevar la temperatura del fuego hasta los 1.650 °C., con lo que se inicia una de las primeras industrias metalúrgicas. Desde el año 3000 a.C. aproximadamente, en el Próximo Oriente los gobernantes eran enterrados junto a objetos de oro, plata, cobre y bronce<sup>50</sup> supuestamente para su uso en el más allá. Los yacimientos de cobre y estaño en las laderas de los montes Cáucaso permitió su introducción también en Europa, desarrollándose la Edad del Bronce<sup>51</sup> y la técnica de su fundición.

### 1.3.2. Edad del Bronce

El mineral de cobre puro no existe en la Naturaleza; todos contienen en mayor o menor proporción restos de otros elementos como arsénico, antimonio, plomo, níquel y bismuto que proporcionan distinta calidad al cobre. La aleación

<sup>49</sup> [Consulta 11-05-2019]. Disponible en: [http://ceres.mcu.es/pages/ResultSearch?Museo=MAN&txtSimpleSearch=La%20Ce%F1uela&simpleSearch=0&hipertextSearch=1&search=advancedUnion&MuseumsSearch=MAN%7C&MuseumsRolSearch=9&listaMuseos=\[Museo%20Arqueol%F3gico%20Nacional\]](http://ceres.mcu.es/pages/ResultSearch?Museo=MAN&txtSimpleSearch=La%20Ce%F1uela&simpleSearch=0&hipertextSearch=1&search=advancedUnion&MuseumsSearch=MAN%7C&MuseumsRolSearch=9&listaMuseos=[Museo%20Arqueol%F3gico%20Nacional]).

<sup>50</sup> Podría ser bronce resultante de la fusión de cobre con impurezas de arsénico, que se encuentra nativo en algunos lugares de Próximo Oriente. De no ser así, y tratarse de cobre y estaño, la procedencia del estaño sería probablemente del Cáucaso, donde existen los minerales más comunes de cobre y estaño, malaquita (carbonato de cobre) y casiterita (dióxido de estaño).

<sup>51</sup> Término acuñado en 1820 por el arqueólogo danés Christian Jürgensen Thomsen para clasificar en tres edades las colecciones de la Comisión Real para la Conservación de las Antigüedades de Copenhague, que sólo tiene valor cronológico en el Próximo Oriente y en Europa, puesto que a la metalurgia se llegó a través de procesos distintos en las diferentes regiones del mundo.

más frecuentemente utilizada en la antigüedad era la de cobre y arsénico, no sólo por su superioridad respecto a cobre más puro, sino también por la abundancia de minerales de cobre arseniado en todo el Próximo Oriente. Este tipo de aleación cayó en desuso tal vez por la toxicidad de los gases emitidos durante el proceso de fundición; además, por la superioridad de la aleación de cobre y estaño, que produce un bronce de mayor calidad.

Entre los objetos de bronce más antiguos se encuentran algunos pertenecientes a la enigmática civilización minoica, como el Doble hacha (labris)<sup>52</sup> cretense, datada en 5000 a.C. Figura 17.



Figura 17. Doble hacha de bronce. Civilización Minoica

En Egipto el bronce empezó a utilizarse con las dinastías tinitas (3050 a 2830 a.C.), y tuvo un importante auge porque llegó a ocupar el lugar del hierro en la actualidad, salvando el salto histórico. Las aleaciones de bronce que utilizaban eran de cobre y estaño, de cobre y plomo, o de cobre, estaño y plomo, aunque también se han encontrados piezas de bronce que contienen arsénico, oro y plata, seguramente porque el cobre utilizado en la fundición contenía estos elementos como *impurezas*. El plomo aporta fluidez al bronce y reduce su punto de fusión, facilitando la colada. Japón, posiblemente derivado de menas de cobre que incluían metales nobles, como oro y plata, desarrolló aleaciones que incluían estos metales, así como procedimientos que permitían su coloración en negro, marrones y azules oscuros.

### 1.3.3. Edad del Hierro

La Edad del Hierro sucede a la del Bronce, con la excepción del África subsahariana en la que se desarrolló sin que fuera precedida del cobre y del bronce. Su inicio se sitúa sobre 1400 a.C.-1200 a.C.

<sup>52</sup> Encontrada en las ruinas del palacio de Cnosos en la isla griega de Creta, perteneciente a la cultura minoica, de las más desconocidas. [Consulta: 17-12-2017]. Disponible en: <https://www.apuntesdehistoria.net/civilizacion-minoica/>.

Todo apunta a que el primer pueblo que fundió el hierro, utilizando los recursos minerales de Anatolia, fueron los hititas<sup>53</sup>, que aplicaron sus conocimientos de fundir cobre y bronce al mineral de hierro. Sobre el año 1500 a.C. esta civilización inició el comercio del hierro con Egipto, Siria e Irán. Se cree que fue en Irán donde se descubrió el acero posiblemente por casualidad, porque surge en la fundición del hierro cuando hay resto de carbono, procedente de combustión de la leña. El salto tecnológico mayor debió ser el descubrimiento de la producción del metal a partir de minerales al someterlos a calentamiento intenso con carbón vegetal hasta producirse la fusión del metal. Operación que hubo de completarse con el desarrollo de herramientas específicas para manipular el metal a tan elevada temperatura, así como el aprendizaje para controlar la temperatura por el color de la llama, que debió ser su herramienta natural entonces más precisa.

El hecho que los minerales de hierro sean muy abundantes en la naturaleza facilitó, una vez dominado el proceso de extracción y fusión del metal contenido en la mena, el desarrollo de esta actividad que progresivamente fue sustituyendo al cobre y al bronce en muchas aplicaciones, incluida la fabricación de armas y de enseres domésticos, como el de la Figura 18, que corresponde al siglo III a.C.<sup>54</sup>.

En definitiva, se llegaron a conocer siete metales, por encontrarse nativos o como componentes de minerales alojados en el subsuelo. El hombre primitivo identificaba cada metal con uno de los siete<sup>55</sup> planetas: el oro con el Sol, la plata con la Luna, el cobre con Venus, el hierro con Marte, el estaño con Júpiter, el plomo con Saturno y el mercurio con Mercurio.

---

<sup>53</sup> Habitantes de la zona que se corresponde con la actual Turquía y norte de Siria.

<sup>54</sup> [Consulta 20-02-2018]. Disponible en: <https://sites.google.com/site/terceromedioidiff/el-hierro/origen-de-la-edad-del-hierro>.

<sup>55</sup> Existía el culto al número siete, lo que se ha mantenido en muchas culturas durante siglos, e incluso en la actualidad. Siete son los días de la semana, siete los planetas, siete metales, siete estrellas del carro de David, etc. Tan arraigada estaba la creencia de que solo existían siete metales que incluso en el siglo XVI se creía que podía haber distintas clases de oro para no aumentar su número. No obstante, en China este culto era al número cinco: cinco elementos (madera, fuego, tierra, metal y agua); cinco direcciones: norte, sur, este, oeste y centro; cinco colores (amarillo, azul, rojo, blanco y negro); cinco metales (oro, plata, plomo, cobre y hierro); cinco planetas (Mercurio, Marte, Júpiter, Venus y Saturno)....



**Figura 18. Cuchillas de hierro**  
**(Dinastía china Qing )**

#### **1.4. Aproximación a la Alquimia y su desarrollo**

Como apuntan algunos autores:

*“El hombre prehistórico, al buscar el origen y la naturaleza de todo lo que le rodeaba creó los mitos en los que cada cosa, cada fuerza natural era un dios o una figura humana; de aquí las cosmogonías de los pueblos primitivos, en las que los fenómenos se imaginan producidos por la acción de agentes sobrenaturales cuya intervención explica todas las anomalías aparentes del Universo. Este estado teológico de la civilización se mantuvo hasta el siglo VI a.C., en que apareció en Grecia un poderoso movimiento intelectual y sus más grandes filósofos especularon sobre el mundo y sobre la naturaleza de la materia, y plantearon claramente muchos de los problemas fundamentales de la Ciencia”<sup>56</sup>,*

pero dejando a un lado la influencia de los dioses y las fuerzas sobrenaturales para centrarse solo en el razonamiento, ya que Aristóteles rechazaba la experimentación por considerarla una actividad menor, sin contenido intelectual.

Existen indicios de prácticas alquímicas a lo largo de todo el primer milenio a. C. en diferentes lugares de Oriente y Occidente; pero fue en el Egipto greco-romano donde más se desarrolló el pensamiento alquímico, en paralelo con la India y China.

En la India, las primeras referencias alquímicas se remontan al siglo IV a.C., si bien en el período Védico (1.700 a 1.100 a.C.) ya se practicaba una medicina tradicional, el Ayurveda, que incluía un conocimiento completo para prolongar la vida, que conciliaba cuerpo, mente y espíritu. Según Esteva de Sagrera:

---

<sup>56</sup> Babor, J.A., Ibarz, J. *Química General Moderna*. 2ª reimpresión. Ed. Marín: Bilbao, 1964. Pp. 8. ISBN: BI. 2.290-1962.

*“Nigirjui, en su Mahi-prajnaparamita-ckstra (Perfección de la Sabiduría), del siglo I a.C. habla de la transmutación de la piedra en oro, que puede realizarse por el poder de las hierbas y por la fuerza del yoga, con el que se vinculó la Alquimia hindú, teniendo el alquimista y el yoguín como fin último común la liberación del espíritu puro”<sup>57</sup>.*

Los hindúes conocían desde el siglo XII la importancia de los colores característicos que toma la llama cuando hay presencia de algún metal, lo que sirve para su identificación (en la química analítica actual se denominan ensayos a la llama, como se tratará posteriormente en este trabajo). También describieron con mucha precisión los procesos metalúrgicos y en la farmacopea recomendaron, antes que los europeos, la ingestión de metales calcinados y de sulfuro de mercurio (en polvo o en píldoras). Asimismo, los hindúes usaron el oro y otros metales para curar ciertas enfermedades. La Alquimia hindú se diferencia claramente de la farmacia de Galeno (129-c.199) que es fundamentalmente vegetal, y consideraba los metales como sustancias tóxicas. También describieron el amoniaco<sup>58</sup>, compuesto que posteriormente influyó mucho en la Alquimia árabe según (Batsdorff, 1965)<sup>59</sup>.

De todas las culturas chinas sólo sobrevivieron las de Yangshao (aprox. entre milenios V y III a.C.), Dawenkou (entre los años 4.100 y 2.600 a. C) y Hongshan (entre los años 4.000 y 2.500 a. C), que con motivo de la unidad territorial y política de la zona norte de China, dio lugar a la denominada cultura neolítica de Longshan, en la que aparecen las figuras legendarias del Emperador Amarillo, de los tres Augustos y cinco Emperadores, el último de los cuales Yu el Grande fundaría la primera Dinastía Xia (s. XXI a.C. hasta el siglo XVI a.C.), a la que siguió Dinastía Shang (1776- 1027 a. C.), con la que China entró en su época histórica.



**Figura 19. Soldados de terracota**

(Tumba de Qin Shi Huang)

La Dinastía Qin/Qin (221 y 206 a. C ) es en la que el Rey pasa a denominarse Emperador, siendo el más importante de ellos Qin Shi Huang, en cuya tumba<sup>60</sup> hacen guardia los conocidos Soldados de Terracota<sup>61</sup>. Figura 19. Para la construcción de su tumba<sup>62</sup> reunió a más de 700 mil

<sup>57</sup> Esteva\_de\_Sagrera, J. *La química sagrada: de la Alquimia a la química en el siglo XVII*. Ed. AKAL Madrid, 1991. Pp.20-22. ISBN: 978-84-7600-738-9.

<sup>58</sup> Inicialmente se obtuvo calentando la orina con sal común y tratando el producto resultante con un álcali.

<sup>59</sup> Martín\_Reyes, G. *Breve Historia la Alkimia*. Fund. Canaria Orotava de H<sup>a</sup>. de la Ciencia: Santa Cruz de Tenerife, 2004. Pp. 16-17. ISBN: 9788460907480.

<sup>60</sup>[Consulta: 10-1-2018]. Disponible en: <https://encolombia.com/educacion-cultura/arte-cultura/civilizaciones/civilizacion-china/>.

<sup>61</sup> [Consulta 8-9-2018]. Disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Mausoleo\\_de\\_Qin\\_Shi\\_Huang#/media/File:Terracotta\\_pmorgan.jpg](https://es.wikipedia.org/wiki/Mausoleo_de_Qin_Shi_Huang#/media/File:Terracotta_pmorgan.jpg)

hombres cerca de la capital de China. Su muerte ocurrió de forma misteriosa mientras realizaba un viaje por la China oriental, en busca de las legendarias islas de los inmortales y del secreto de la vida eterna.

En la Dinastía Han (206 a.C y 220 d.C), el emperador más destacado fue el llamado Han Wudi, bajo cuyo mandato se inventó la fabricación del papel. A esta época corresponde uno de los primeros indicios escritos recogidos en el libro "Shih Chi" (Notas Históricas)<sup>63</sup>. Se conoce que durante el periodo de gobierno de esta Dinastía Han, la Alquimia estuvo muy extendida en China, se practicaba tanto la transmutación de metales imperfectos en oro y plata, como la magia. Toda esta práctica encontraba su inspiración en el taoísmo<sup>64</sup>, abriendo dos líneas esencialmente distintas: la Alquimia exotérica y la esotérica. La primera ópera con sustancias materiales y concretas, mientras que la segunda es un fenómeno espiritual desvinculado del laboratorio, porque se centra en la actuación sobre las almas de los productos materiales, no en los productos en sí.

*"Las primeras referencias a la Alquimia china datan del siglo IV a.C. Tsu Yen fue el primer alquimista chino y está considerado el fundador de la tradición alquímica en China... y existen referencias al alquimista chino Liu Hsiang (79-8 a.C.) quien afirmaba que podía hacer oro, pero fracasó al intentarlo delante del emperador Xuan Di (73-49 a.C.) en el año 60 a.C."*<sup>65</sup>.

También se tiene conocimiento de que unos 20 años después de la muerte de la Dama de Tai, hacia el año 144 a.C., el emperador Ching promulgó un edicto en el que amenazaba con la ejecución pública de quienes aquellos que se sorprendieran intentando falsificar oro, lo que constituye un signo inequívoco de esta práctica en aquella época, que se ha repetido en diversas ocasiones<sup>66</sup> en distintos periodos y continentes.

*"De todas las civilizaciones antiguas, la más avanzada en las artes químicas y la más relacionada con la química europea moderna fue la egipcia. Los egipcios fueron maestros en la fabricación de vidrios y esmaltes; imitaban a la perfección los metales nobles, así*

---

<sup>62</sup> Según los escritos históricos, en su interior se encuentra la tumba en bronce del primer Emperador vestido con una armadura de oro, flotando en ríos de mercurio con una representación en miniatura de todo su reino. Es llamativo que China aún no haya permitido la entrada a la tumba por haber decidido esperar hasta que desarrollen la tecnología para preservar lo que aún se resguarda allí. Solamente se han realizado algunas pruebas científicas que confirman que existe una cámara de gran tamaño en el interior del mausoleo en la que los índices de mercurio en el ambiente son atípicamente elevados, lo que ratifica lo que recogen escritos antiguos que describen la tumba.

<sup>63</sup> Ssu-Ma Ch'ien (145-90 a.C.). Es la obra de este historiador chino, que fue castrado por orden del emperador Han Wudi por defender al general Li Ling que tuvo una derrota con los Xiongnu. La castración era el castigo chino equivalente a la muerte, ya que el suicidio estaba considerado la única opción digna después de la mutilación, cosa que no hizo para acabar su libro.

<sup>64</sup> El significado del tao depende del contexto y puede usarse como término filosófico, cosmológico, religioso o moral.

<sup>65</sup> Esteve de Sagrera, J. *La Química Sagrada. De la Alquimia a la Química en el s. XVII*. Ed. AKAL: Madrid, 1991. Pp.16. ISBN: 978-84-7600-738-9.

<sup>66</sup> En el siglo VII, Chalid ibn Jazid mandó decapitar a todos los alquimistas de su corte; el Papa Juan XXII promulgó la excomunión para quien fabricara oro; a principios del siglo XV Inglaterra amenazó de muerte a los alquimistas.

*como el rubí, el zafiro y la esmeralda; utilizaron ampliamente el cuero y usaron la lana, el algodón y el lino que sabían blanquear y teñir con índigo, púrpura y rubia, no desconociendo el uso de mordientes; prepararon perfumes, bálsamos, productos de belleza y venenos, cuya química fue muy floreciente en la antigüedad; obtuvieron jabones y diferentes sales de sodio, potasio, cobre, aluminio y otros metales; y utilizaron el betún en embalsamamientos y en decoración. Pero todas estas prácticas eran fundamentalmente empíricas y no constituían una ciencia ni siquiera en forma rudimentaria”<sup>67</sup>,*

y no podía ser de otro modo ya que prácticamente ignoraban la composición de la materia.

Los sacerdotes egipcios consideraron la metalurgia un arte sagrado por la asociación entre la transformación de la materia con los dioses y con la astrología. Posiblemente para proteger sus prerrogativas, defendían que la práctica de la metalurgia era una revelación divina, y que solo por mandato divino se podía realizar esa actividad. Además, sus prácticas metalúrgicas la hacían en secreto, llegando a penalizar con la muerte a quien revelara a terceros sus procedimientos de laboratorio. Todo esto consolidó la falta de transparencia y la lenta difusión de la metalurgia y de todo lo relacionado con la Alquimia. Con el tiempo se empezó a distinguir entre Adeptos<sup>68</sup>, Arquimistas y Espagiristas. Para los primeros la transmutación de los metales era simplemente una comprobación o *test* de haber llegado, en base a la senda del perfeccionamiento espiritual con la oración y con la práctica de laboratorio, a la Piedra Filosofal como vía de adquirir sabiduría y también para poder evitar la corruptibilidad del cuerpo humano durante muchos siglos de espera en la Tierra (supuestamente como los primeros patriarcas antediluvianos) como preparación para la inmortalidad en el más allá, pero en ningún caso buscaban el enriquecimiento. Los Arquimistas, por el contrario, solo deseaban llegar a la Piedra Filosofal como medio para enriquecerse, y con frecuencia utilizaron los supuestos conocimientos de los trabajos de laboratorio para involucrar a los poderosos en la financiación de sus proyectos, con sonadas estafas que les desprestigiaron, cuando no encontraron la muerte por ellas. Los Espagiristas utilizaban la depuración de los metales de los procedimientos alquímicos para la preparación de medicinas.

Fueron los filósofos griegos quienes desarrollaron la idea de la existencia de un elemento principal permanente origen de todas las sustancias. Como elemento primordial de la materia, Anaxímenes (585 - 524 a.C.) defendió que era el aire; Heráclito (540 - 475 a.C.) el fuego; y posteriormente Empédocles (alrededor de 500-430 a.C.) aceptó los elementos de sus antecesores, pero agregó la tierra, considerando todos ellos simples elementos. Así apareció la *teoría de los cuatro elementos*, que fue aceptada por Aristóteles (384 – 322 a.C.) el mayor pensador griego, quien añadió el éter, designándolo como la quintaesencia que soportaba todo

---

<sup>67</sup> Babor, J. A., Ibarz, J. *Química General Moderna*. 2ª reimpresión: Ed. Marín.:Bilbao, 1964. Pp. 8. ISBN: BI.8471029979.

<sup>68</sup> Adepto es quien ha conseguido llegar a la Piedra Filosofal, por lo que tiene un profundo conocimiento de las materias primas y sus procesos.

lo creado. El reconocimiento y autoridad de Aristóteles hizo que esta teoría permaneciera casi 2.000 años, siendo sorprendente que los grandes pensadores griegos no buscasen una confirmación experimental de sus abstracciones, pero ellos defendían que todo conocimiento debía adquirirse únicamente mediante el razonamiento y que el experimento no solo era innecesario, sino que incluso creían que disminuiría su dignidad. Este error del empleo del puro razonamiento, sin experimentación, mantuvo estacionado el progreso de la ciencia durante muchos siglos. En realidad, los cuatro elementos no eran más que la generalización y representación de una observación cotidiana, pues un cuerpo es sólido (tierra), líquido (agua) o gaseoso (aire), o bien se encuentra en estado de incandescencia (fuego)<sup>69</sup>. Aristóteles aceptó la posibilidad de transmutación entre ellos de los cuatro elementos mediante el intercambio de alguna de sus cualidades primarias que le caracterizan, Figura 20:

*“Lo caliente y lo seco son cualidades asignadas al fuego. Lo caliente y lo húmedo son las propias del aire. Lo frío y húmedo los son del agua, y lo frío y lo seco son las asignadas a la tierra. En cada elemento predomina una cualidad sobre la otra. Así, en la tierra predomina la sequedad; en el agua la humedad; en el aire lo frío y en el fuego el calor”<sup>70</sup>.*



**Figura 20. Teoría de los cuatro elementos y sus cualidades**

De aquí se deduce que cualquier clase de sustancias, tratándola adecuadamente, pueda ser formada por otra, por lo que aparece aquí el germen de las teorías sobre la transmutación metálica y una justificación de los trabajos de los alquimistas, que se tratará posteriormente. Durante muchos siglos se admitió que hirviendo reiteradamente agua en un recipiente de vidrio, al cabo de mucho tiempo de ebullición, aparecía un sedimento terroso en el fondo del recipiente, lo que significaba – erróneamente para ellos - que el agua se había convertido en tierra, a través del fuego, por pérdida de las cualidades de seco y frío. Fue necesario esperar a los trabajos de Lavoisier a finales del siglo XVIII para demostrar la imposibilidad de esta transformación.

Por la misma época, en la que aumentó la necesidad de conocer la composición de la materia, Leucipo (n.d-430 a.C.) y su discípulo Demócrito (460-370 a. C.), ya enseñaron la discontinuidad de la materia formada por partículas materiales, *el ser*, y por *el no ser*, resultante de los intersticios entre aquellas, que permitían su movimiento. Esta teoría fue construida íntegramente con conceptos filosóficos, y

<sup>69</sup> Pueden incluso imaginarse como vestigios lejanos de las teogonías prehistóricas al suponer el hombre primitivo el *dios Viento*, el *dios Trueno*, el *dios Lluvia* y el *dios Rayo*, que poco a poco irían perdiendo su carácter sobrenatural.

<sup>70</sup>Holmyard, E.J. *La prodigiosa historia de la Alquimia*. Guardiania de Publicaciones: Madrid, 1970. Pp. 22-23. ISBN: 10: 4000343653.

mantiene una estrecha relación con las teorías científicas modernas<sup>71</sup> del átomo. Las partículas de la materia son eternas, indivisibles, y de la misma naturaleza, pero difieren en forma, por el orden en que están colocados en la materia, por su posición relativa y por su magnitud. Epicuro de Samos (342-270 a.C.), introdujo la palabra átomo y le asignó un peso esencial. Fue Diógenes Laertius (412-323 a.C.), biógrafo del mundo griego, quien en la biografía de Leucipo afirma que:

*"Leucipo fue el primero en elevar los átomos a nivel de principio y que estableció el concepto de vacío"*.

El filósofo turco Eudoxo de Cnido (390-337 a.C.) fue pionero en plantear un esquema planetario basado en un modelo matemático, por lo que se le considera el padre de la astronomía matemática. Estableció la idea de esfera celeste y en su modelo cosmológico afirmaba que la tierra era el centro del Universo. Teofrasto de Ereso (370-185 a.C.), discípulo de Aristóteles, fue su sucesor en la escuela peripatética griega, la que presidió durante 36 años. Estratón de Lampsaco (340-268 a.C.) admitía también la existencia del átomo, pero defendía que la materia es divisible hasta el infinito y que existían intervalos de vacío.

A principios de siglo IV a.C. un autor chino anónimo describe la fabricación de la Piedra Filosofal y de la píldora de la inmortalidad por un proceso complejo en un ovo cerrado. Por esa misma época, en Roma se construye el primer acueducto (año 313 a.C.), y Aristarco de Samos (310-230 a.C.), establece que la Tierra gira alrededor del Sol.

En la segunda mitad del siglo IV a.C., con Atenas convertida en centro del desarrollo cultural y político, fue Alejandro Magno (356-323 a.C.), discípulo de Aristóteles y de Ostanos<sup>72</sup>, quien en el año 332 a.C. aportó a Grecia, tras vencer al rey persa Darío III, las civilizaciones de los pueblos de Egipto, Mesopotamia e India. Con esta conquista, la ciencia griega se desplaza a Alejandría, en cuya Escuela florecieron grandes matemáticos, astrónomos y biólogos. Fue precisamente en Alejandría donde entraron en contacto los metalistas y artesanos egipcios con las ideas filosóficas de Grecia. Los procesos metalúrgicos y de tintura, cargados de misticismo desde tiempos remotos, encontraron por vez primera una justificación racional. No obstante, este florecimiento cultural fue decayendo posteriormente hasta apagarse hacia el año 400 de nuestra Era.

Manetón (283-246 a.C.), clérigo egipcio y conocido autor de la "Historia de Egipto" escrita en griego durante el reinado de los dos primeros faraones de la Dinastía Ptoloméica (323-30 a.C.), por encargo del rey Ptolomeo I Sóter<sup>73</sup> (367-283 a. C.) sentó

---

<sup>71</sup> No será hasta 1677 cuando Boyle establezca su modelo del átomo (que echó por tierra la teoría de los cuatro elementos de Aristóteles y de los tres principios- *tria prima*- de los Alquimistas: mercurio, azufre y sal), que Dalton desarrollaría en 1803 como resultado de observaciones científicas.

<sup>72</sup> Bolos de Mendes menciona a Ostanos, como posibles maestros de Alejandro Magno y de Demócrito, nombre que engloba a varios sacerdotes no identificados de la época.

<sup>73</sup> Fue general de Alejandro Magno que gobernó Egipto desde la muerte de éste hasta el año 30 a.C. A esta dinastía perteneció Cleopatra y al final de su reinado Egipto fue anexionado al Imperio Romano.

las bases de un culto sincrético [intento de conciliar doctrinas distintas, como eran la egipcia y la helénica], y fue quien atribuyó a Hermes Trimegisto más de 32.500 libros, cuando debieron ser múltiples los autores que se escudaron en su figura mítica para sacar a la luz sus escritos. Arquímedes (287- 212 a.C.), que era hijo del astrónomo Fidas, es considerado uno de los principales científicos de la antigüedad clásica, contribuyendo a la Física con el conocido 'Principio de Arquímedes', y por sus estudios sobre la palanca, aportando a las Matemáticas la cuadratura del círculo<sup>74</sup>, y la espiral que lleva su también su nombre, entre muchas otras cosas. Eratóstenes (276-194 a.C.) fue quien primero calculó el diámetro de la Tierra en 40.000 km. y Apolonio de Perge (262-190 a.C.) famoso por su obra sobre "Las Cónicas", fue quien dio nombre a la elipse, parábola e hipérbola e introdujo el epiciclo en el modelo geocéntrico, ideado para explicar las variaciones en la velocidad y la dirección del movimiento aparente de la Luna, el Sol y los planetas. Hiparco de Nicea (190-120 a.C) calculó la distancia entre la Tierra y la Luna (384.000 Km.)<sup>75</sup>.

Durante el siglo II a.C., la Alquimia desarrolló una metodología y unas bases conceptuales en las que la componente mística despuntaba como fundamental. Se inicia así una nueva etapa de la filosofía alejandrina, de la que el egipcio Bolos de Mendes (s. III y II a.C.) fue su principal representante, y el autor más antiguo citado en el Corpus Alejandrino<sup>76</sup>, derivándose a partir de aquí la práctica de la filosofía alejandrina de lo material a lo místico. Se le atribuye la obra alquímica *Physyka Kay Mystika*<sup>77</sup> (Física y Mística), que recoge la fabricación de oro, plata, piedras preciosas y otras sustancias de interés, afirmando que la materia prima para producir un metal noble como el oro son plomo, plata o mercurio. El problema era aportar a estos metales impuros las características del oro, paradigma de la pureza.

El fracaso experimental de producir oro condujo a los alquimistas de la época a abrazar la magia como modo de ocultar sus fracasos. Los materiales fueron perdiendo relevancia a favor del ritual secreto y las invocaciones fueron los únicos que tomaron protagonismo. Todo esto coincidió con una caída intelectual de Alejandría.

Los alquimistas adquirieron un gran conocimiento en el tratamiento de los metales y debido a la influencia de la cultura helenística, comenzaron a especular sobre el trabajo que realizaban en base al pensamiento filosófico dominante. La idea aristotélica estuvo muy arraigada y conformó los principios de la Alquimia como fue la conversión de unos elementos o sustancias en otros, en particular la transmutación de

---

<sup>74</sup> Cálculo de un cuadrado con idéntica superficie que un círculo de diámetro definido. Se trata de un problema imposible de resolver geoméricamente utilizando solo regla y compás.

<sup>75</sup> Sorprende la elevada precisión si se tiene en cuenta que la distancia real oscila entre 356.334 km. y 406.610 km. dependiendo de la posición de la luna en su órbita elíptica alrededor de la Tierra, que da un promedio de 381.472 km.

<sup>76</sup> Bensaude-Vincent. B. *Lavoisier: una revolución científica*. Historia de las Ciencias. Ed. Serres, M.: Madrid, 1998. Pp. 410 - 435. ISBN: 84-376-0988-7.

<sup>77</sup> El libro de Alquimia más antiguo conocido es *Física y Mística* de Bolos de Mendes, escrito en el 200 a.C., inspirado en las recetas de metalúrgicos, vidrieros y tintoreros. Este libro está dividido en cuatro capítulos: oro, plata, piedras preciosas y púrpura.

los metales, que justificaba sus laboratorios y el trabajo como procedimiento de búsqueda de la perfección del hombre, que es realmente la esencia de la Alquimia. El conocimiento de la esencia de la materia aparecía como necesaria.

Entre los protagonistas de la historia de la Alquimia greco-egipcia aparecen, en términos de Martín Reyes, varias figuras femeninas semilegendarias:

*“María la Judía, Cleopatra (69-30 a.C.), y Theosebia (hermana de Zósimo de Panopolis, Papa Alquimista autor de 28 volúmenes escritos en griego, posteriormente traducido al sirio y al árabe, que se inspiró en Hermes Trimegisto, haciendo una Alquimia esotérica). Este hecho resulta bastante curioso porque tradición alquímica de épocas posteriores es exclusivamente masculina. Hasta el siglo XV no se vuelven a tener referencias de otras mujeres alquimistas, como es el caso de Perenelle, esposa y al parecer colaboradora del alquimista parisino Nicolás Flamel”*<sup>78</sup>.

#### 1.4.1. Fundamentos de la Alquimia

La Alquimia nació con la propia existencia del hombre, puso sus bases en el hermetismo y creó su respaldo filosófico en el pensamiento de Platón<sup>79</sup>(427 - 327 a.C.) y Aristóteles. El hermetismo aportó<sup>80</sup>, además de su componente espiritual, buena parte de la simbología para imprimir un carácter reservado/oculto<sup>81</sup> que trascendió a todas las fases del proceso en el laboratorio del alquimista.

Del aristotelismo la Alquimia utilizó toda la ‘ciencia’ que supuso el pensamiento sobre la composición de la materia (teoría de los cuatro elementos, ya citados), y en especial el prestigio de Aristóteles, por lo que representaba que el hubiera admitido la transmutación de la materia. Señala Esteva de Sagra que sin

*“...esos conceptos comunes a toda la ciencia de su tiempo, el alquimista no hubiese podido formular científicamente sus objetivos y hubiera podido ceñirse a planteamientos simbólicos. La teoría de los cuatro elementos y los conceptos de materia, forma, entelequia, potencia y acto, permitieron que el alquimista realizase la osadía intelectual de trasladar el hermetismo y sus símbolos a un laboratorio químico [...] Armado con tales concepciones, el alquimista descendió de la especulación teórica y del discurso simbólico y se adentró en un mundo de*

---

<sup>78</sup> Martín Reyes, G. *Breve Historia la Alkimia*. Fund. Canaria Orotava de Hª. de la Ciencia, Santa Cruz de Tenerife, 2004. Pp. 18-19. ISBN: 9788460907480.

<sup>79</sup> Platón fue seguidor de Sócrates y maestro de Aristóteles durante 20 años en la *Academia* creada por aquel en el año 367 a.C., que funcionó durante novecientos años.

<sup>80</sup> Postulados de la Tabla Esmeraldina y la concepción de los metales como embrionarios, la influencia cósmica en su pensamiento y el camino para alcanzar la sabiduría.

<sup>81</sup> Los libros de Alquimia, según Ko-Hung -filósofo chino taoísta del s. IV a.C.-, no dan las instrucciones necesarias para obtener la piedra filosofal, porque se limitan a dar unos rudimentos válidos para los recién iniciados, pero la verdadera sabiduría permanece secreta y no se escribe en los libros, sino que se transmite por tradición oral, del maestro a sus discípulos preferidos, en los que ya puede confiar. En consecuencia, es una actividad que se mantiene oculta, resultando muy penoso la indagación en su contenido.

retortas y alambiques. Con el dominio del fuego y su tecnología química, el alquimista se creyó capaz de modificar las proporciones de los cuatro elementos existentes en los metales, de añadir al plomo aquello que le faltaba para convertirse en oro. Al hacerlo, el alquimista se limitaba a producir una aceleración en el proceso natural que, según los hermetistas, conduciría los metales imperfectos a convertirse en oro”<sup>82</sup>.

Por otra parte:

“Los trabajos de los alquimistas se basaban en las naturalezas, por lo que a cada reino le correspondía una meta: al reino mineral la transmutación de metales vulgares en oro o plata, al reino animal la creación de una «panacea», un remedio que supuestamente curaría todas las enfermedades y prolongaría la vida indefinidamente. Todas ellas eran el resultado de las mismas operaciones. Lo que cambiaba era la materia prima, la duración de los procesos y la vigilancia y fuerza del fuego”<sup>83</sup>.

Batsdorff apunta, en el libro que se le atribuye (Figura 21):

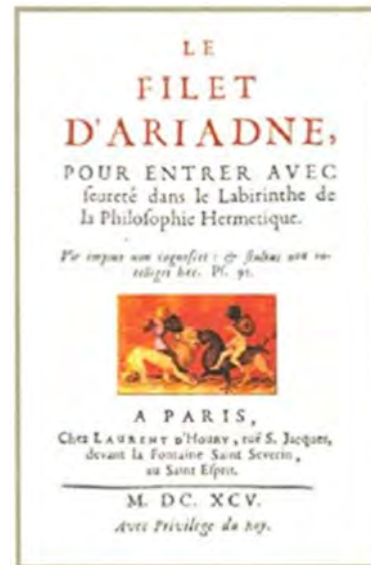


Figura 21. La red de Ariadna

“Todo hombre prudente debe, en primer lugar, aprender la ciencia, si puede; es decir, los principios y los medios de operar, en lugar de emplear totalmente su tiempo y sus bienes[...] Así, pues, ruego a quienes lean este librito que den fe a mis palabras. Les digo, pues, una vez más, que jamás aprenderán esta ciencia sublime a través de los libros, y que no puede aprenderse más que por revelación divina, por lo que se llama Arte divino, o bien por medio de un buen y fiel maestro, y como hay muy pocos a quienes Dios haya hecho esa gracia, también hay pocos que lo enseñen”<sup>84</sup>.

Todos los autores clásicos se muestran unánimes en reconocer que la Gran Obra es un resumen, reducido a las proporciones y posibilidades humanas, de la Obra Divina:

“Tan solo los espíritus metálicos tienen el privilegio de alterar, modificar y desnaturalizar los cuerpos metálicos. Son ellos los verdaderos promotores de todas las metamorfosis corporales que pueden observarse. Pero como esos espíritus, tenues, en extremo sutiles y volátiles, tienen necesidad de un vehículo o envoltorio capaz de retenerlos; como la materia de ellos debe ser muy pura -a fin de permitir al espíritu permanecer en ella- y muy fija, a fin de impedir su

<sup>82</sup> Esteva de Sagrera, J. *La Química Sagrada. De la Alquimia a la Química en el s. XVII*. Ed. AKAL: Madrid, 1991. Pp. 10-11. ISBN: 978-84-7600-738-9.

<sup>83</sup> [Consulta: 28-4-2019]. Disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Alquimia#La\\_Alquimia\\_como\\_investigaci3n\\_de\\_la\\_naturaleza](https://es.wikipedia.org/wiki/Alquimia#La_Alquimia_como_investigaci3n_de_la_naturaleza).

<sup>84</sup> Batsdorff. *Le Filet d'Ariadne*. Laurent: d'Hour: Paris, 1695. Pp. 2.

*volatilización; como debe permanecer fusible, con objeto de favorecer el ingreso; como es indispensable asegurarle una resistencia absoluta a los agentes reductores, se comprende sin dificultad que esa materia no pueda ser buscada tan solo en la categoría de los metales. Por ello, Basilio Valentín recomienda tomar el espíritu en la raíz metálica, y Bernardo el Trevisano se pronuncia por el empleo de los metales, los minerales y sus sales en la construcción del cuerpo.*<sup>85</sup>

Los metales, o mejor dicho, el conocimiento de la esencia de los metales para el verdadero Alquimista son fundamentales. La Tierra era vista como la “Madre” y las piedras y los minerales crecían y maduraban en su vientre, al ser considerados como un embrión. El hombre, con sus prácticas de extracción de los minerales se sentía capaz de ayudar a la Naturaleza, con operaciones que acelerasen el ritmo de maduración de estos embriones inmaduros/imperfectos. Esta era la misión del alquimista, la de ayudar a perfeccionar la obra de la Naturaleza, no de crear nada, al mismo tiempo que trabajaba para perfeccionarse a sí mismo. Si nada entorpecía el proceso de gestación de los minerales en la tierra, éstos se convertirían con el paso del tiempo en oro; la Alquimia no hacía sino acelerar el crecimiento de los metales para alcanzar una mayor perfección, hasta llegar al oro. Se trata pues de sanar a los metales enfermos, utilizando los términos empleados por Esteva<sup>86</sup>, para convertirlos en “oro filosófico”<sup>87</sup>, la forma pura de todos los metales. Pero todo ello envuelto en un pensamiento trascendente, consistente en el deseo de elevar la materia de su laboratorio y a él mismo como persona, a un estado de perfección.

En la Edad Media, y especialmente en el periodo del 400-1000, conocido por la Edad Tenebrosa,<sup>88</sup> la preocupación teológica llena los espíritus y únicamente hacia el siglo VII empieza a adquirir la ciencia una cierta importancia entre los árabes, que dominaron gran parte del mundo conocido y sus ciudades se convirtieron en centros culturales. La Alquimia renació y fueron ellos los que se ocuparon de reducir la componente mística, tal vez por la idea de ciencia que tenían en la que importaba más un mundo real que un mundo mágico. Siglos después y gracias a los árabes, el conocimiento antiguo, y con él la Alquimia, pasó a ser tema de estudio en Europa, lugar donde volvería a surgir la idea de

---

<sup>85</sup> Fulcanelli. *Las Moradas Filosóficas*. Ed. Plaza y Janés: Barcelona, 1971. Pp. 168 y 163, ISBN: 840131013X.

<sup>86</sup> Esteva\_de\_Sagrera, J. *La Química Sagrada. De la Alquimia a la Química en el s. XVII*. AKAL: Madrid, 1991. Pp.7. ISBN: 978-84-7600-738-9.

<sup>87</sup> Para los Alquimistas, el oro común era el más perfecto de los metales, pero no que fuera perfecto. Buscaban la perfección en el oro filosófico, que suponía la perfección de la materia y del espíritu, y por lo tanto, el oro común solo era un arquetipo, una forma de simular la perfección a la que aspiraban, que estaba en la esencia del oro perfecto.

<sup>88</sup> En el eclipse casi total de la ciencia en este largo periodo deben destacarse, no obstante, dos grandes figuras; San Isidoro de Sevilla (560-636), que en su monumental obra *Orígenes de las cosas*, o *Etimologías*, transmitió a la Edad Media la cultura de la antigüedad, y el monje Gerberto (940-1003), que llegó a Papa con el nombre de Silvestre II y que había sido formado en el monasterio de Vich.

átomos y donde se erigiría el pensamiento científico moderno. Los conocimientos químicos aprendidos de los egipcios y las ideas filosóficas heredadas de los antiguos a través de la Escuela alejandrina dieron así a la Alquimia, ya en manos de los árabes, y después en toda Europa, una significación especial.

La filosofía hermética enseña<sup>89</sup> que los cuerpos no tienen ninguna acción sobre los cuerpos y que solo los espíritus son activos y penetrantes. Para los alquimistas:

*“los espíritus son influencias reales, aunque físicamente casi inmateriales o imponderables. Actúan de una manera misteriosa, inexplicable, incognoscible, pero eficaz, sobre las sustancias sometidas a su acción y preparadas para recibirlos. La radiación lunar es uno de esos espíritus herméticos”<sup>90</sup>,*

al igual que la acción de los rayos cósmicos, entre otras radiaciones del Universo, tienen sobre el crecimiento de las plantas. Prueba de ello es la protección que le aporta a una planta el ponerle una antena semicircular y abierta de cobre alrededor de su tronco/tallo, que la protege de enfermedades y le facilita su crecimiento, según he podido comprobar personalmente en alguna ocasión siguiendo las investigaciones de Lakhovsky<sup>91</sup> (1870-1942).

Los reglamentos medievales de la Edad Media impedían tener en domicilios particulares, sin previa autorización, hornos y equipamientos para la práctica de laboratorio, lo que reforzó aún más el carácter secreto de la actividad que realizaban los alquimistas, arquimistas y espagiristas en dependencias mantenidas en el más estricto secreto. Y de estas actividades surgieron descubrimientos en el campo de la química, como posteriormente se aborda.

#### 1.4.2. Objetivos de la Alquimia

Pueden resumirse en tres objetivos prioritarios:

- Producir la Piedra Filosofal como paso previo para fermentarla y obtener polvo de proyección para transmutar los metales imperfectos,

---

<sup>89</sup> Jabir, en *Suma de perfección del Magisterio* (Summa perfectionis Magisterii), habla así del poder que tienen los espíritus sobre los cuerpos: “Si queréis hacer experimentar a los cuerpos cambios diversos, tan solo lo conseguiréis con la ayuda de los espíritus (per spiritus ipsos fieri necesse est). Cuando estos espíritus se fijan en los cuerpos, pierden su forma y su naturaleza y ya no son los que eran. Cuando se opera su separación, he aquí lo que sucede: o los espíritus se escapan solos, y los cuerpos a los que estaban fijados permanecen, o los espíritus y los cuerpos se escapan juntos al mismo tiempo.”

<sup>90</sup> Fulcanelli. *Las Moradas Filosóficas*. Ed. Plaza y Janés: Barcelona, 1971. Pp. 119-120. ISBN: 840131013X.

<sup>91</sup> Lakhovsky, G. *El Secreto de la Vida: Las ondas cósmicas y la radiación viral*. Biblioteca de Ideas y Estudios Contemporáneos:1927. Pp116-119. [Consulta: 7-1-2018]. Disponible en: [https://issuu.com/astroman2013/docs/el\\_secreto\\_lakhovsky](https://issuu.com/astroman2013/docs/el_secreto_lakhovsky)

principalmente el mercurio<sup>92</sup> y el plomo, en oro o en plata, metales más nobles.

- Preparar una panacea que curara enfermedades humanas, conserve o devuelva la juventud y prolongue la vida<sup>93</sup>.
- Conseguir la transformación espiritual del alquimista para alcanzar la perfección

Habitualmente la materia prima para el alquimista procede del mundo vegetal, pero posteriormente la Alquimia pretendió también extraerla de los metales, reduciéndolos a fluidos. Se creía que convirtiendo la forma cobre en un líquido, la materia prima que se encontraba en él quedaría liberada, con lo que posteriormente se podría hacer su transmutación en oro, considerado el metal más perfecto. Esto implicaba que las cualidades del oro debían ser transferidas al metal imperfecto, siguiendo la teoría aristotélica. La cualidad más fácil de trasladar era el color, por lo que teñir el metal suponía un paso positivo hacia el objetivo, y de aquí la importancia que se concedió a los tintes. Para esta transformación era imprescindible dominar el régimen del fuego, considerado como un elemento acelerador del proceso natural que realiza la propia naturaleza en el seno de la Tierra. Pero no puede olvidarse que la Alquimia contiene una parte mística que une la oración con la práctica de laboratorio.

Además de las operaciones metalúrgicas propiamente dichas, que suponen extraer un metal del mineral bruto, fundirlo y, en caso necesario, alearlo con otros metales para mejorar sus propiedades, los alquimistas produjeron productos químicos que facilitasen el trabajo sobre los metales, ya sea para limpiarlos, ya para darles otras propiedades: facilitar su fusión, mayor consistencia o modificar su color. Entre los productos químicos muy utilizados se encontraban el azufre, el antimonio, y sobre todo el mercurio que siendo un metal líquido también es capaz de disolver algunos otros metales. Con la obtención y manipulación de estos productos químicos, el campo de acción del metalúrgico fue ampliándose paulatinamente hacia lo que hoy conocemos con el nombre de Química, y éste es, sin duda, el motivo por el cual las artes afines, como la fabricación de vidrios de colores, de gemas artificiales y de tintes, así como las pátinas se incluyen en el legado eminentemente metalúrgico de la Alquimia.

---

<sup>92</sup> El mercurio es un metal venenoso que pudo causar la locura y las continuas pérdidas de memoria que sufría el físico Isaac Newton. Los médicos usaban con mucha frecuencia el mercurio para tratar a sus pacientes. Iván el Terrible de Rusia (1530-1584), por ejemplo, tomaba este elemento químico para tratar su sífilis, ya que destruye al parásito *Treponema pallidum*. Al astrónomo danés Tycho Brahe (1546-1601) lo mató el mercurio de los medicamentos que tomaba para combatir sus problemas de próstata. Y a Napoleón Bonaparte le recetaron calomel (cloruro de mercurio) a su llegada a Santa Helena, donde estuvo exiliado entre sus neuronas y convulsiones. Y a continuación sus riñones se habrían paralizado por completo, acabando con su vida. La misma suerte podría haber corrido el presidente norteamericano Abraham Lincoln (1809-1865).

<sup>93</sup> La Alquimia china confiaba en encontrar ese medicamento, que llamaron "Chi Tan", en una de las tres islas de la Inmortalidad.: "P'en-Lai", "Fang Chang" y "Jenchou".

En el siglo XIII se enfatizó el objetivo de la Alquimia hacia la búsqueda del «elixir filosofal o de larga vida», imaginado como una infusión de la Piedra Filosofal, el cual debía eliminar la enfermedad, devolver la juventud, prolongar la vida e incluso, para algunos, asegurar la inmortalidad. A Roger Bacon<sup>94</sup> (1214–1294) se le atribuye el inicio de la búsqueda de la piedra filosofal y del elixir de la vida:

*«Esa medicina que eliminará todas las impurezas y corrupciones de los metales menores y también, en opinión de los sabios, quitará tanto de la corruptibilidad del cuerpo que la vida humana podrá ser prolongada durante muchos siglos [...] La idea de la inmortalidad fue reemplazada por la noción de la longevidad: después de todo, el tiempo que el hombre pasa en la Tierra era simplemente una espera y preparación para la inmortalidad en el otro mundo»<sup>95</sup>.*

Hacia finales del siglo XIII, la Alquimia había desarrollado un sistema de creencias bastante estructurado. Los adeptos creían en las teorías de Hermes sobre el macrocosmos-microcosmos, es decir, creían que los procesos que afectan a los minerales y otras sustancias podían tener un efecto en el cuerpo humano (por ejemplo, si uno aprendiese el secreto de purificar oro, podría usar la misma técnica para purificar el alma humana). En este periodo histórico, que coincide con el que los alquimistas son perseguidos y condenados a muerte, aparece la figura de Paracelso<sup>96</sup> (1493 - 1541), que practica una Alquimia exotérica, pero ecléctica entre racionalismo, empirismo, ocultismo neoplatónico y misticismo, creando la denominada *iatroquímica*, que aplica las sustancias químicas en medicina<sup>97</sup> y rechaza la doctrina de los cuatro elementos de Aristóteles<sup>98</sup>, como ya hiciera Bacon dos siglos antes.

¿Pero qué es la Piedra Filosofal?<sup>99</sup>. Es interesante seguir lo que escribe el adepto Fulcanelli sobre la misma:

---

<sup>94</sup> Bacon introdujo un punto de inflexión en el pensamiento alquímico al admitir que tenía idéntica importancia el conocimiento derivado del puro razonamiento como el resultante de la experimentación, rompiendo así con la barrera que estableció en su día Aristóteles. Y con ello, se inició la andadura de la química como ciencia experimental.

<sup>95</sup> Medes, N. *La Alquimia en la Europa medieval*. El Reporte:1 mayo 2019. [Consulta 2-5-2019]. Disponible en: <https://www.elreporte.com.uy/la-Alquimia-en-la-europa-medieval/>.

<sup>96</sup> Philippus Aureolus Theophrastus Bombastus von Hohenheim

<sup>97</sup> Brock, W. H. *Historia de la química*. Ed. Alianza: Madrid, 1998. Pp. c.a.12. ISBN: 978-84-206-2912-4.

<sup>98</sup> Bensaude-Vincente, B. y Stengers, I. *Historia de la Química*. Addison – Wesley: Madrid, 1997. ISBN: 020182194X.

<sup>99</sup> La Piedra Filosofal recibe múltiples denominaciones, todas ellas equivalentes, según cada autor. Por ejemplo: Para Bernardo de Trevisano: es el Sueño Verde; para Ireneo Filateleo: es La entrada al palacio cerrado del rey; para el Cosmopolita: La carta filosófica; para Fulcanelli: Piedra que lleva el signo del sol; para Simón H: La puerta cerrada. Con frecuencia la denominación coincide con el nombre de alguna de sus obras escritas.

*“Lo que importa sobre todo es tener presente que la piedra filosofal se nos ofrece bajo la forma de un cuerpo cristalino, diáfano, de masa roja y amarilla después de su pulverización, que es denso y muy fusible, aunque fijo a cualquier temperatura, y cuyas cualidades propias lo hacen incisivo, ardiente, penetrante, irreductible e incalculable. Añadamos que es soluble en el vidrio en fusión, pero se volatiliza instantáneamente cuando se proyecta en un metal fundido. He aquí, reunidas en un solo cuerpo, propiedades fisicoquímicas que lo alejan de modo singular de la naturaleza metálica y hacen su origen muy nebuloso ... Obtenida en forma salina, multiplicada o no, tan solo es útil para la curación de las enfermedades humanas, la conservación de la salud y el crecimiento de los vegetales. Soluble en todo licor espirituoso, su solución toma el nombre de oro potable (aunque no contenga el menor átomo de oro), porque afecta un magnífico color amarillo. Su valor curativo y la diversidad de su empleo en terapéutica hacen de él un auxiliar precioso en el tratamiento de las afecciones graves e incurables. No ejerce acción alguna sobre los metales, salvo el oro y la plata, con los que se fija y a los que dota de sus propiedades, pero, en consecuencia, no sirve de nada para la transmutación. Sin embargo, si se excede el número límite de sus multiplicaciones, cambia de forma y, en lugar de recobrar el estado sólido y cristalino al enfriarse, permanece fluida como el azogue [nombre asignado al mercurio] y absolutamente incoagulable. En la oscuridad, brilla entonces con un resplandor suave, rojo y fosforescente cuyo brillo se mantiene más débil que el de una lámparilla ordinaria. La medicina universal se ha convertido en luz inextinguible, el producto lumínico de esas lámparas perpetuas que algunos autores han señalado que han sido encontradas en algunas sepulturas antiguas. Así, radiante y líquida, la piedra filosofal apenas es susceptible, según nuestra opinión, de ser llevada más allá[...]. Finalmente, si se fermenta la medicina universal sólida con oro o plata muy puros, por fusión directa, se obtiene el polvo de proyección, tercera forma de la piedra. Se trata de una masa translúcida, roja o blanca según el metal escogido, pulverizable, apta tan solo para la transmutación metálica”<sup>100</sup>.*

El alquimista necesitaba una pequeña cantidad de polvo de proyección para aplicarlo a la transmutación en oro, o en plata, de otros metales. Esta necesidad se deriva de ser el polvo de proyección el único que permite realizar, como prueba irrefutable de haber llegado con éxito, tras sus laboriosos trabajos de laboratorio e invocaciones místicas, a la Piedra Filosofal.

El objetivo de los alquimistas/arquimistas, desde un punto de vista científico, desde nuestro punto de vista, no era utópico porque la transmutación de un metal en otro de característica muy parecidas, se ‘limita’<sup>101</sup> a arrancar alguna partícula elemental del núcleo atómico, como se verá posteriormente al tratar de la estructura del átomo. Lo que ocurre es que no disponían de suficiente conocimiento de la estructura de la materia ni, desde luego, que sepamos, medios como para manipular las partículas elementales. Solo anticipar, por el

---

<sup>100</sup> Fulcanelli. *Las Moradas filosofales*. Ed. Plaza & Janes: Barcelona, 1971. Pp.161-162. ISBN: 840131013X.

<sup>101</sup> En la actualidad las operaciones que representa la modificación del núcleo atómico requieren la aportación de mucha energía.

momento, que hay reacciones químicas que solo se producen en presencia de un *catalizador*, sustancia química que aparentemente no interviene en la reacción, o al menos su modo de intervención no se conoce<sup>102</sup>, pero que facilita con su presencia determinadas reacciones químicas. La pregunta es: ¿podrían algunos Adeptos haber encontrado por azar un *catalizador* que les permitiera llegar a la transmutación?

### 1.4.3. Medios: El Laboratorio

A partir de la Edad Media, algunos alquimistas empezaron a considerar cada vez más los aspectos metafísicos como los auténticos cimientos de la Alquimia y a las sustancias químicas, estados físicos y procesos materiales como meras metáforas de entidades, estados y transformaciones espirituales. De esta forma, tanto la transmutación de metales corrientes en oro como:

*“la panacea universal simbolizaba la evolución desde un estado imperfecto, enfermo, corruptible y efímero hacia un estado perfecto, sano, incorruptible y eterno y la piedra filosofal representaba entonces alguna clave mística que haría esta evolución posible.”<sup>103</sup>.*

*“Hasta el siglo XVII la Alquimia fue en realidad considerada una ciencia seria en Europa: por ejemplo, Isaac Newton dedicó mucho más tiempo y escritos al estudio de la Alquimia que a la óptica o la física, por lo que es célebre. Otros eminentes alquimistas del mundo occidental son el citado Roger Bacon, Santo Tomás de Aquino, Tycho Brahe, Thomas Browne, Ramon Llull y Parmigianino, entre otros. El nacimiento de la química moderna surgió con los aprendices de Alquimia desencantados de su nulo progreso alquímico y con los críticos resentidos de la Alquimia; tanto unos como otros lograron progresos en varios campos de la naturaleza en el siglo XVIII, con el que proporcionaron un marco más preciso y fiable para las elaboraciones industriales y la medicina, libres del hermetismo propio de la Alquimia (pues la Alquimia nunca se prodigó como ciencia de multitudes), y entrando en un nuevo diseño general de conocimiento basado en el racionalismo. A partir de entonces, todo personaje que entroncaba con la Alquimia o que «oscurecía» sus textos fue despreciado por la naciente corriente científica moderna”<sup>104</sup>.*

A fin de llegar a dominar la Naturaleza y de acelerar los procesos que en ella tienen lugar de forma espontánea, el alquimista tuvo que dominar el fuego, porque el calor asume el papel de fuerza cósmica en los procesos naturales. Existen para los alquimistas tres grados de fuego: Un fuego inicial, de

---

<sup>102</sup> El catalizador aumenta la velocidad de reacción, posiblemente a través de un proceso de participación transitoria en la formación de compuestos complejos, que lo devuelve a su estado inicial cuando culmina la reacción, por lo que se dice que no interviene. Casi el 80% de los productos químicos que se fabrican utilizan catalizadores específicos.

<sup>103</sup> Sánchez, G. *Espiritualismo*. USA. Primera Edición en español. 2010. Pp. 155. ISBN: 145889252.

<sup>104</sup> *Alquimia*. [Consulta 28-04-2019]. Disponible en: [http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Alquimia\\_35145.pdf](http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Alquimia_35145.pdf).

temperatura comparable a la de los excrementos, la incubación o la fiebre, en el rango 35-40° C; un segundo nivel, con una temperatura de 50 - 70° C centígrados, que solía describirse como el equivalente al calor del sol sobre el tejado al mediodía; y un fuego más intenso, entre 100 - 200°C, semejante al de las brasas.

*“En los aparatos y los hornos, Zósimo hace referencia al trihikos de María la Judía y en Cheirokmeta encontramos la primera enciclopedia alquímica. Pero su obra más importante es el tratado De la Virtud, donde para exponer sus argumentos utiliza la descripción de unos supuestos sueños plagados de visiones. Ellas representan el castigo, la muerte y regeneración que sufren los metales en el interior del recipiente alquímico. Según las doctrinas herméticas es necesario mortificar la materia para liberar el espíritu”<sup>105</sup>.*

Este proceso se describe como una ascensión por siete escalones, siete castigos o procesos. Cuando estos procesos tienen lugar en el interior de la Tierra, la materia metálica se perfecciona gracias al calor proveniente del cielo que, algo atenuado pero constante, se filtra por las venas de la tierra produciendo un efecto directo sobre los metales que anidan en su interior. Los alquimistas, en cambio, deben utilizar hornos para generar el calor necesario y poder así imitar y acelerar la obra que realiza la Naturaleza.

Filateleo<sup>106</sup> escribe con detalle el modo de construir el horno común, también conocido como *Enrique el Lento*, que permite llevar a cabo en él toda la Obra alquímica menor, ya que la Obra Mayor requería del horno filosófico o Atanor : el propio cuerpo humano.

María la Judía (en el entorno de los siglos I - III), ya citada como la primera mujer Alquimista no identificada, aunque hay quien le asocia con María Magdalena o con la hermana del profeta Moisés. No se conserva ningún ejemplar original de su obra, pero se conoce que influyó en la formación de los alquimistas de su época. Zósimo de Panópolis (n.d. – 418), reconocido alquimista griego relata que tuvo en sus manos alguna obra de María la Judía en la que se hablaba por vez primera de reacciones químicas hasta entonces desconocidas, y también que inventó aparatos de laboratorio y la denominada ‘cocción al Baño María’. Entre los aparatos de laboratorio figuran el *dibikos* y el *tribikos*, alambiques de dos o tres brazos, detallando instrucciones para su construcción, mostrando una gran intuición porque dentro de los mismos se simula el ciclo del agua en la Naturaleza, que sube al cielo como vapor, se condensa por el frío y cae de nuevo en forma de lluvia líquida. Su uso se centraba en la destilación del mercurio y en la extracción de jugos vegetales. Para retener las esencias de determinados vegetales, utilizados como materia

---

<sup>105</sup> Martín Reyes. G. *Breve Historia la Alkimia*. Fund. Canaria Orotava de Hª. de la Ciencia: Santa Cruz de Tenerife, 2004. Pp. 20-21. ISBN: 9788460907480.

<sup>106</sup> Filateleo, I. *La Entrada Abierta al palacio del Rey*. 1.645.Capitulo XII, Punto II. Pp. 14. [Consulta: 12 -1-2018]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/183067127/Irineo-Filateleo-La-entrada-abierta-al-palacio-cerrado-del-rey-pdf>.

prima, se procedía a múltiples destilaciones repetitivas y cíclicas que pretendían purificar la materia prima. Puede identificarse con los actuales *Soxhlet*, sistemas de vidrio muy utilizados en laboratorios químicos para, por ejemplo, extraer aceites esenciales de las plantas, que personalmente he utilizado con frecuencia.

Otros utensilios de uso muy frecuente en un laboratorio alquímico eran los matraces de digestión, de cuello largo, que servían para calentar moderadamente las mezclas, sin llegar a la ebullición; también eran muy corrientes los crisoles de arcilla para la fusión, algunos incluso perforados para separar distintos metales por su diferente punto de fusión, y la copela, un plato pequeño y poroso fabricado con cenizas de huesos calcinados y prensados, en el que se funden muestras de amalgamas de oro-mercurio o de plata-mercurio, bajo una entrada permanente de aire con el fin de oxidar el mercurio (que se deposita en las paredes en forma de óxido) y recoger un grano del metal precioso purificado.

Los hornos se utilizaban no sólo para la calcinación, sino también en muchas otras operaciones. Había una gran variedad de ellos: los más sencillos eran los pequeños hornos empleados para calentar los matraces de los alambiques o los matraces de digestión y de sublimación.

Otro tipo especial de horno de carbón era el *kerotakis* utilizado sobre todo en las operaciones con metales. En el fondo del *kerotakis* se ponía azufre o mercurio y en la parte superior (sobre una paleta) el metal en forma de polvo. El calor hacía que se formaran vapores de azufre o mercurio, según el caso, que ascendían por el aparato y atacaban al metal. La menor temperatura de la parte superior hacía que estos vapores se condensaran y descendieran de nuevo, estableciéndose así, un reflujo continuo, método ampliamente utilizado en la actualidad en las columnas de destilación en la industria química y petroquímica, eso sí, muy mejorado. El color de la sustancia formada indicaba al alquimista la fase en que se encontraba su obra.

En los limitados textos alquímicos,

*“también se enumeran los colores que los compuestos de cobre originan en la llama, el procedimiento de fabricación del acero, la purificación de metales, la preparación de barnices y tintes, la obtención de aceites vegetales (esencias perfumadas), la técnica de lavado con jabón o álcalis, la destilación de diversos líquidos (como el vinagre para obtener el ácido acético) y el uso de dióxido de manganeso en la fabricación de vidrio (lo que permite obtener un vidrio transparente e incoloro)”*<sup>107</sup>.

---

<sup>107</sup> Martín Reyes. G. *Breve Historia la Alkimia*. Fund. Canaria Orotava de Hª. de la Ciencia: Santa Cruz de Tenerife, 2004. pp 28. ISBN: 9788460907480.

Ha habido algunos artistas que han reflejado en sus obras el laboratorio alquímico, recogiéndose como muestra en la Figura 22 la pintura *Distillatio*<sup>108</sup> de Jan van der Straet, realizada en 1580.



Figura 22. Laboratorio Alquímico

#### 1.4.4. Etapas del Proceso Alquímico: importancia del color

El proyecto del alquimista no se habría mantenido vigente durante tantos siglos sin una base conceptual sólida. Con las operaciones de laboratorio, con sus cíclicas y repetidas destilaciones, el alquimista creía que podía cambiar las proporciones de los metales y obtener, tras un penoso proceso, la forma pura o filosófica del oro, gracias a un proceso ininterrumpido de sublimación y espiritualización.

La materia prima generalmente utilizada, a nuestro juicio y siguiendo los escritos de Barbault<sup>109</sup>, es de origen vegetal, concretamente una selección de tierra, de tallos de nacimiento reciente recogidos en determinadas posiciones

<sup>108</sup> [Consulta: 18-10-2018]. Disponible en: [www.librosmaravillosos.com/brevehistoriadelaAlquimia/index.html](http://www.librosmaravillosos.com/brevehistoriadelaAlquimia/index.html).

<sup>109</sup> Barbault, A. *El Oro de la milésima Mañana*. Primera Edición. Ed. Sirio: Málaga. 1986. Pp. 67- 76. ISBN: 84-86221-20-X.

del Zodiaco, conservado todo ello con el rocío de la mañana que, por la forma de condensar, está afectado por los rayos cósmicos. No obstante, en etapas posteriores se trató también de utilizar como materia prima algunos minerales y metales. Las operaciones alquímicas, dicho de modo muy simplificado, trataban de reproducir el ciclo vital de la naturaleza (con el pensamiento puesto en la creación) en un recinto cerrado, utilizando el calor y la condensación como operaciones básicas para destruir con calor lo que tuviera de impuro la tierra y los elementos vegetales, para posteriormente regar esa materia prima con las gotas que la evaporación, al ser condensada, producía.

El procedimiento lo describen de modo distinto cada autor. Así, Flamel<sup>110</sup> (1.330-1.412) cita un procedimiento de tres etapas (nigredo, ennegrecimiento o melanosis; albedo, blanqueamiento o leucosis; y rubedo, enrojecimiento o iosis). Algún autor cita una etapa anterior al rubedo bajo el nombre de cintritas, amarilleamiento o xantosis; Ireneo Filateleo<sup>111</sup> (1.612- n.d.) es posiblemente el más explícito en la descripción del proceso y de los colores que aparecen. Sadoul<sup>112</sup>, recoge una descripción detallada en veinte apartados del proceso de Filateleo. Martín\_Reyes<sup>113</sup> refiere doce etapas: calcinación, congelación, fijación, disolución, digestión, destilación, sublimación, separación, ceración, fermentación, multiplicación y proyección. Pero lo más frecuente es un procedimiento basado en siete<sup>114</sup> operaciones básicas: calcinación, putrefacción, solución, destilación, conjunción, sublimación y coagulación, que cada una de ellas se desarrollaba bajo la influencia de uno de los signos del Zodiaco. La calcinación busca la eliminación de la imperfección, mientras que el resto de operaciones son de reconstrucción hasta obtener una nueva forma de la materia, más perfecta, bajo el aspecto de una tintura filosofal blanca o roja<sup>115</sup>, según se pretenda realizar la prueba con la transmutación a plata u oro. Grillot de Givry menciona el siguiente acompañamiento de cambios de color:

*“los colores principales que se suceden son, en primer lugar, el negro, que en la simbología alquímica es referido como plomo, Saturno, cuervo, etc., que es señal*

---

<sup>110</sup> Flamel, N. *El sumario Filosófico. El libro de las figuras jeroglíficas*. 1399. [Consulta: 10-1-2018]. Disponible en: <https://cosmogono.files.wordpress.com/2017/02/breve-tratado-o-sumario-filosofico3b3fco.pdf>.

<sup>111</sup> Filateleo, I. *La Entrada Abierta al palacio del Rey*. Capítulo XII, Punto II, 1645. Pp. 14 y 48. ISBN: [Consulta: 12-1-2018]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/183067127/Ireneo-Filateleo-La-entrada-abierta-al-palacio-cerrado-del-rey-pdf>.

<sup>112</sup> Sadoul, J. *El Tesoro de los Alquimistas*. Ed. Plaza & Janés: Barcelona, 1974. Pp.47-54. ISBN: 10: 8401470234.

<sup>113</sup> Martín Reyes, G. *Breve Historia la Alkimia*. Fund. Canaria Orotava de Hª. de la Ciencia: Santa Cruz de Tenerife, 2004. Pp. 21. ISBN: 9788460907480.

<sup>114</sup> La esencia de todos los procesos puede resumirse en el *solve et coagula*. Todo el proceso va acompañado de cambios de color, desde el negro de la calcinación derivado de la putrefacción de la materia prima empleada, pasando por la aparición de un punto blanco que rebrota y se extiende por la masa negra, hasta producirse cambios de color con distintas tonalidades hasta llegar al rojo. El color indica al Adicto si el progreso es adecuado, ya que en caso contrario debe empezarse desde el inicio.

<sup>115</sup> Esteva de Sagrera, J. *La Química Sagrada. De la Alquimia a la Química en el s. XVII*. Ed. AKA: Madrid, 1991. Pp. 13. ISBN: 978-84-7600-738-9.

*de putrefacción y de entera disolución de la materia, siguiendo el blanco y el rojo, habiendo otros colores secundarios, pasajeros y de menor duración: el verde, el gris, el amarillo, el “cola de faisán o arco iris”. El púrpura indica la perfección de la Piedra. Si el color rojo aparece antes que el negro, el fuego ha sido demasiado intenso y la obra no resultará; hay que volver a empezar[....] El blanco marca una fijación importante de la materia. Al blanco sigue el amarillo limón, al que los filósofos llaman su oro. Finalmente se muestra el color rojo situación designada con los nombres ‘flor de oro’, ‘corona real’ etc. El rojo indica la fijación perfecta de la Piedra. Así pues, y al parecer, el orden de los colores sería: verde, negro, gris, blanco, amarillo, rojo y púrpura”<sup>116</sup>.*

La solidificación de la tintura conduce a la Piedra Filosofal, que parcialmente molida es el denominado polvo de proyección, al metal impuro en estado fundido para que sea capaz de convertirlo en plata u oro, según el color del polvo. Si esto ocurre, se ha alcanzado la meta, y el Alquimista pasa a ser Adepto. Con esto se llega a dos paradojas de la Alquimia:

1. Cuanto mayor edad tenía el Alquimista, más trabaja en su empeño, porque el tiempo se le agotaba para alcanzar la perfección y para poder utilizar la Piedra Filosofal como elixir de larga vida. Y la realidad es que la edad de vida de los alquimistas, según la cuantificación que se ha realizado con 55 Alquimistas históricos reconocidos de los que se dispone de sus fechas de nacimiento y muerte, arroja un promedio de vida de 68,6 años, edad nada excepcional, y que contrasta con los 83 años que aporta Sadoul<sup>117</sup>, utilizando solo 10 Alquimistas, entre ellos Flamel y Ripley con 88 años cada uno. La Tabla 4 recoge la cuantificación realizada, si bien hay relatos de Alquimistas que se les ha perdido el rastro y se ha especulado con su desaparición e incluso supervivencia.
2. La afirmación de muchos alquimistas de haber alcanzado su meta, con frecuencia es negado por los científicos. No podemos afirmar si se trata de realidades o simplemente de auto-convencimiento derivado de su fe, al igual que ocurre en las distintas religiones.

En todo caso, de lo que no hay duda es que existe una doctrina alquímica nacida en las primeras civilizaciones antiguas que ha evolucionado de alguna manera, y sobrevivido durante muchos siglos, que a muchos le costó la vida y a otros les facilitó un oficio remunerado con los descubrimientos derivados de su actividad alquímica.

---

<sup>116</sup> Grillot de Givry. *La Gran Obra*. Biblioteca esotérica. Ed. Yugu: Mexico, 1982. Pp. 37. ISBN: 968-7149-16-7.

<sup>117</sup> Sadoul, J. *El Tesoro de los Alquimistas*. Ed. Plaza & Janés: Barcelona, 1974. Pp. 289 (Anexo). ISBN: 10: 8401310326.

	ALQUIMISTA	ORIGEN	NACIMIENTO	FALLECIMIENTO	AÑOS DE VIDA
1	Keops	Egipto	-2589	-2566	23
2	Autor Desconocido	Chino	-300	n.d.	
3	Bolos de Mendes	Egiptcio	n.d.	n.d.	
4	Ssu-Ma Chien	Chino	-163	-85	78
6	Liu Hsiang	Chino	-79	-8	71
8	Cleopatra	Egiptcia	-69	n.d.	
9	Galeno	Hindú	129	199	70
11	Ko Hung	Chino	283	343	60
12	Zósimo de Panópolis	Griego	n.d.	418	
13	María la Judía	Judía	n.d.	n.d.	
14	Obispo Sinesio	Libio	360	430	70
15	Oliompodoro	Griego	n.d.	n.d.	
16	Heráclito I	Bizancio	n.d.	n.d.	
17	Sun Ssu-miao	Chino	581	673	92
18	Estéfano de Alejandría	Bizantino	n.d.	n.d.	
19	Khalid inb Yazid	Sirio	665	704	39
20	Morienus	Romano	n.d.	n.d.	
21	Jabir ibn Hayyan GEBER	Arabe	721	815	94
22	Abu Bakr M. ibn Z. al-Razi	Arabe	865	925	60
24	Al-Biruni	Persa	973	1050	77
25	Aven Sina (Avicena)	Persa	980	1037	57
26	Chang Po-tuan	Chino	984	1082	98
27	Maslama Ibn Ahmad	Español	950	1007	57
28	Teófilo (monje)	Alemania	1100	1125	25
29	Artefio	Arabe	1126	n.d.	
30	Maimónides	Español	1139	1205	66
31	Anónimo	Toledo	1142	n.d.	
32	Francisco de Asís	Italiano	1180	1253	73
33	Elio Bounbarone	Italiano	n.d.	n.d.	
34	Buenaventura De Iseo	Italiano	1180	1280	100
35	Vincent Beauvais	Francés	1190	1264	74
36	San Aberto Magno	Alemán	1193	1280	87
37	Roger Bacon(franciscano)	Inglés	1214	1294	80
38	Santo Tomás de Aquino	Italiano	1226	1274	48
39	Raimundo Llull	Español	1235	1315	80
40	Arnaldo de Vilanova	Español	1240	1313	73
41	Peratallada, Juan	Francés	1302	1366	64
42	Nicolás Flamel	Francés	1330	1418	88
43	Basilio Valentin(seudónimo)	Aleman	1394	1450	56
44	Bernardo Trevisano	Italiano	1406	1490	84
45	George Ripley	Inglés	1402	1490	88
46	Leonardo da Vinci	Italiano	1452	1519	67
47	Giovanni Aurelio Augurelli	Italiano	1456	1524	68
49	Enrique Cornelio Agripa	Alemán	1486	1535	49
50	Paracelso	Suizo	1493	1541	48
51	Georgius Agrícola	Romano	1494	1555	61
52	Denis Zachaire	Francés	1510	1556	46
53	Jhon Dee	Inglés	1527	1608	81
54	Tycho Brahe	Danés	1546	1601	55
55	A. Livabius	Alemán	1550	1616	66
56	Edward Kelly	Francés	1555	1597	42
57	Galileo	Italia	1564	1642	78
58	Michael Sendivogius	Polaco	1566	1646	80
59	Álvaro Alonso Barba	Español	1569	1662	93
60	van Helmont	Belga	1578	1644	66
61	San Vicente Paul	Francés	1581	1660	79
62	Alexander Sethon(Cosmopolita)	Escocés	n.d.	1604	
63	Jorge Lipa	n.d.	1600	1666	66
64	Irineo Filaleteo	Inglés	1612	n.d.	
65	J. Federico Schweitzer	Alemán	1625	1709	84
66	Henning Brand	Alemán	1630	1670	40
67	Joachim Becher	Alemán	1635	1682	47
68	Georg Ernst Stahl	Alemán	1659	1734	75
70	Isaac Baulot	Francés	1612	n.d.	
72	Johann Chistian Kundmann	Polaco	1684	1751	67
77	Conde de Saint Germain	Alemán ?	1698	1784	86
78	Laskaris (seudónimo)	Griego	n.d.	n.d.	
82	Ruder Boscovich	Croata	1711	1787	76
85	Tiphaigne de la Roche	Francés	1722	1774	52
102	Cyliani (Seudónimo)	Francés	1772	n.d.	
119	Fulcanelli	Francés	1839	n.d.	
125	Alexander van Bernus	Suizo	1880	1965	85
127	Eugenio Cansellet	Francés	1899	1982	83
128	Armand Barbault	Francés	1935	vive	
129	Simón H. (Seudónimo)	Español	n.d.	vive	
	VIDA PROMEDIA				68,6

Tabla 4. Longevidad de algunos alquimistas

#### 1.4.5. Adeptos, alquimistas y espagiristas.

Muchas han sido las personas que han centrado su vida, con distintos objetivos, en la práctica de la Alquimia. Los espagiristas buscaban hacer medicamentos con métodos alquímicos. En la citada Tabla 4 se recoge una información amplia de alquimistas, adeptos o no, que trabajaron en distintas épocas históricas. Pero merece especial atención citar aquí algunos casos de supuestos alquimistas que preconizaron que conocían el camino para llegar a la Piedra Filosofal para realizar la transmutación del plomo en oro, ofreciendo su servicio a príncipes y emperadores. Gallego y Pérez lo relatan del siguiente modo:

*“El primero de ellos, parece haber sido el reconocido con el nombre o seudónimo de Morieno (Federmann, 1974) y el último quizás, el que se autodenominó Cagliostro (McCalman, 2004). Es preciso sostener que a lo largo del siglo XVI proliferaron, por lo que entre los registrados se encuentran: Marco Bragadino, presunto conde, que se presentó ante el príncipe elector de Baviera afirmando que era capaz de fabricar oro. En 1591 fue colgado en Munich junto con, al parecer, dos ingenuos cómplices. Otro registrado fue Wenzel Seyler que se presentó ante el emperador Leopoldo I en Viena con una moneda hecha, aparentemente, con oro alquimista. En 1676 fue nombrado caballero de Reinburg e intendente de Bohemia. Estafó al emperador por una suma de veinte mil florines. Cuando se descubrió su fraude fue devuelto a Bohemia y el emperador canceló las deudas que Seyler había contraído en Viena. No fue ejecutado. Para ahondar en el listado, se registra una banda de malhechores cuyo jefe fue un antiguo párroco de Turingia, llamado Philipp Soemmering que se amangualaba [ponerse de acuerdo para conspirar] con su colega Abel Schering. Con ellos colaboraba el ayudante de cámara y bufón de la corte de Julio de Braunschweig-Wolfenbüttel, Heinrich Schombach y su mujer o amante Ana María Zieglerin. Soemmering y Schombach fueron torturados con tenazas incandescentes el 7 de febrero de 1575 y luego descuartizados; Ana María sufrió la misma tortura para después ser quemada en una silla de hierro (Federmann, 1974). Hacia el siglo XVII la adulteración y falsificación de los metales había ya sido calificada de una actividad ilegal. No obstante, cabe recordar que en 1317, tiempo después de que Dante hubiera condenado a los alquimistas al infierno, el papa Juan XXII los expulsó de Francia por acuñar dinero falso. Los dominicos seguidamente amenazaron con excomulgar a todos los miembros de la Iglesia que fueran sorprendidos practicando el arte hermético. Después, en 1403, las actividades de los fabricantes de oro en Inglaterra eran lo suficientemente graves que se aprobó una ley que las prohibió y penalizó con la muerte y la confiscación de propiedades (Brock, 1998). Estos estafadores sepultaron la credibilidad y posible imagen social positiva que alguna vez pudieron tener en el pasado los alquimistas artesanos y la Alquimia exotérica”<sup>118</sup>.*

Pocos comentarios cabe añadir a esta descripción.

---

<sup>118</sup> Gallego Badillo, R. y Pérez Miranda, R. *Una aproximación a un análisis histórico y social general de la Alquimia*. Educación Química, vol.25 no.2. México, Abril 2014. Pp 108.

#### 1.4.6. Principales descubrimientos de la Alquimia

El trabajo que han realizado los alquimistas a lo largo de la Historia no arroja la evidencia constatada de haber llegado al objetivo de producir la Piedra Filosofal, pero es evidente que los trabajos de laboratorio dieron lugar a descubrimientos de nuevos productos y al desarrollo de aparatos que le permitieron continuar con sus experimentos. Así llegaron a usar, y con frecuencia producir por métodos empíricos, sustancias con distintos colores que pasaron a formar parte de sus medios de vida. Se conoce que, por ejemplo, los Asirios y Babilónicos elaboraban perfumes, medicinas, vidrios coloreados, y que utilizaban oropimente como pigmento y como veneno (por ser sulfuro de arsénico).

Otras evidencias indican claramente que los primitivos alquimistas del Antiguo Egipto habían ideado pastas de yeso ya en el 4.000 a. C., morteros cimentantes hacia el 2.500 a. C. y el vidrio en el 1.500 a. C. La reacción química implicada en la producción del óxido de calcio es una de la más antiguas conocidas<sup>119</sup>. En el Antiguo Egipto se produjeron cosméticos, fayenza (loza fina vidriada) y también pez para la construcción naval. El papiro también había sido inventado hacia el 3.000 a. C. Muy probablemente, el edicto que declaró en el año 292 del emperador romano Diocleciano (244-311) ordenando la quema de los antiguos escritos egipcios sobre el arte de fabricar oro y plata tras sofocar una revuelta en Alejandría, hiciera desaparecer parte del patrimonio alquímico acumulado hasta aquella fecha<sup>120,121</sup>.

La pólvora puede haber sido una importante invención de los alquimistas chinos. Descrita en textos del siglo IX y usada en fuegos artificiales en el siglo X, fue empleada en cañones sobre 1290. Desde China, el uso de la pólvora se extendió a Japón, los mongoles, el mundo árabe y Europa. La pólvora fue usada por los mongoles contra los húngaros en 1241 y en Europa a partir del siglo XIV.

*“Entre los logros prácticos, de la Alquimia griega podemos destacar la obtención de aleaciones muy parecidas al latón (ormolu, oroide, oro de Manheim [...]), el oro doblado (oro rebajado con cobre, cinc o arsénico), así como tratamiento de técnica capaces de colorear la superficie de los metales con lacas o disoluciones que formaban una capa superficial, generalmente de sulfuros”<sup>122</sup>.*

---

<sup>119</sup>  $\text{CaCO}_3 + \text{calor} \Rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$

<sup>120</sup> Berthelot, M. *Collection des Anciens Alchimistes Grecs*. Première Livraison. Georges Steinheil, Editeur. París:1887. Pp. 532. [Consulta 2-04-2018]. Disponible en: <https://archive.org/details/collectiondesanc01bert/page/n403>.

<sup>121</sup> Berthelot, M. *Los orígenes de la Alquimia*. P. E. Traducción de J. Valero. MRA: 2001. ISBN 84-88865-68-6.

<sup>122</sup> Martín\_Reyes. G. *Breve Historia la Alkimia*. Fund. Canaria Orotava de H<sup>a</sup>. de la Ciencia: Santa Cruz de Tenerife, 2004. Pp. 23. ISBN: 9788460907480.

Tan solo los escritos herméticos, incomprendidos por los investigadores profanos, fueron la causa indirecta de los descubrimientos que sus autores jamás habían previsto. Así es como Raimundo Lulio (1232-1315) sintetizó la acetona; Basilio Valentin (1394-1450), prestigioso adepto que no menospreciaba los ensayos espagíricos, estableció toda la serie de sales de antimonio y realiza el coloide de oro rubio, que en la actualidad sigue comercializándose como oro coloidal en medicina naturalista; Blaise de Vignere (1523-1596) obtuvo el ácido benzoico por sublimación del benjuí (resina aromática); Van Helmont (1580-1644) reconoció la existencia de los gases; Johann R. Glauber (1604-1670) obtuvo el sulfato sódico ; y el alquimista Henning Brandt (1630-1710) pudo extraer el fosforo buscando el alkaest (mercurio) en la orina, manteniendo su descubrimiento en secreto porque formaba parte de su búsqueda de la piedra filosofal<sup>123</sup>; el alquimista Tiphaigne de la Roche, (1722-1774) en su obra fechada en 1760, titulada *Giphantie* (anagrama de Tiphaigne), Figura 23, describe lo siguiente:

*«Usted sabe que los rayos de luz reflejados por diferentes objetos forman imágenes, pintan la imagen reflejada en todas las superficies pulidas, como por ejemplo, en la retina del ojo, sobre el agua y sobre el cristal. Los espíritus en su intento de fijar estas imágenes fugaces, han creado una sustancia sutil por medio de la cual se puede formar una imagen en un abrir y cerrar de ojos. Cubren un lienzo con esta sustancia y lo ubican frente al objeto que desean capturar. El primer efecto es similar al de un espejo, pero debido a su naturaleza viscosa el lienzo logra conservar un facsímil de la imagen, lo cual no ocurre en un espejo. El espejo representa fielmente las imágenes, pero no las conserva; nuestro soporte las conserva. Esta impresión de la imagen es instantánea. El lienzo se retira y se ubica en un lugar oscuro. Una hora más tarde la impresión se ha secado, y usted tiene una representación, valiosa por el hecho de que ningún arte puede imitar su veracidad.»*<sup>124</sup>



Figura 23. *Giphantie*

lo que supone que conocía el procedimiento fotográfico para fijar la imagen antes del supuesto descubrimiento de Niepce (1765-1833) y de Daguerre (1787-1851), ya que lo publicó cuando Niepce tenía solo 5 años y Daguerre no había nacido.

<sup>123</sup> Emsley, J. *La impactante Historia del Fósforo*. 2000. ISBN: 0-330-39005-8

<sup>124</sup> Tiphaigne de la Roche, C.F. *Giphantie*. Editions Marguerite Waknine:2013, ISBN: 978-2-916694-47-4

Resulta curiosa la receta que recoge el Papiro de Leyden, del siglo III, para hacer que un anillo de cobre parezca ser de oro:

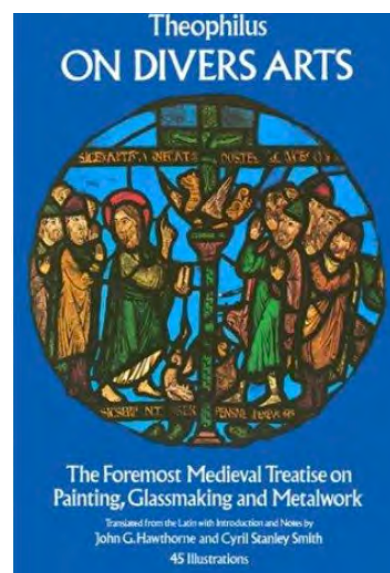
*“Se muele oro y plomo hasta polvo tan fino como harina; tomar dos partes de plomo por una de oro y, habiéndolas mezclado, se amasa con goma. Se cubre el anillo de cobre con esta mezcla y entonces se calienta. Se repite varias veces hasta que el objeto haya tomado el color. Es difícil de descubrir porque al frotar aparece la marca propia de un objeto de oro y el calor consume el plomo, pero no el oro”<sup>125</sup>.*

En definitiva, se trata de un recubrimiento de oro sobre un anillo de cobre hecho por sublimación del plomo. Fulcanelli también recoge dos procedimientos de producción de oro, citando que es un axioma corriente en espagía que:

*“es más fácil hacer oro que destruirlo”<sup>126</sup>.*

Martín Reyes señala que:

*“...desde el punto de vista de la química práctica, encontramos en el corpus javeriano la descripción más antigua que se conoce sobre la preparación del ácido nítrico (aquí fortis), que era usada para separar el oro de la plata, ya que esta es soluble en el ácido, pero no el oro. Palabras como álcali (sosa o cenizas de plantas alcalinas), tucia (óxido de cinc), vitriolo (aceite de vitriolo es el ácido sulfúrico), vitriolo verde (sulfato de hierro) aparecen por vez primera en estas obras”<sup>127</sup>.*



**Figura 24. De Diversis Artibus**

En el siglo X comenzaron a circular manuscritos que contenían colecciones de recetas técnicas muy similares a las de los papiros egipcios de Estocolmo y de Leyden, del siglo III a.C. El primer manual completo fue escrito en el siglo XII, “De Diversis Artibus” (versión inglesa en Figura 24), por el monje Benedictino Teófilo <sup>128</sup>, que describe como trabajar distintos metales, métodos para dorar,

<sup>125</sup> [Consulta: 27 -10-2018]. Disponible en: [www.librosmaravillosos.com/brevehistoriadelaAlquimia/index.html](http://www.librosmaravillosos.com/brevehistoriadelaAlquimia/index.html).

<sup>126</sup> Fulcanelli. *Las Moradas Filosóficas*. Ed. Plaza y Janés: Barcelona, 1971. Pp. 116-118. ISBN: 840131013X.

<sup>127</sup> Martín\_Reyes. G. *Breve Historia la Alkimia*. Fund. Canaria Orotava de Hª. de la Ciencia: Santa Cruz de Tenerife, 2004. Pp. 28. ISBN: 9788460907480.

<sup>128</sup> Theophilus. *De Diversis Artibus*. Text with Trans. C.R. Ed. Dodwell, London. 1961. J.H. Hawthorne, J.H., Smith, C.S. (*Translation with Technical Notes*. Chicago. Chapter 71.1963. Pp. 147-148. Sin ISBN:

preparación de tintes, grabado y métodos para colorear cobre. Gearhart<sup>129</sup> ha realizado un extenso análisis de documentos relacionados con dicha obra.

#### 1.4.7. Testimonios

Seguimos de modo resumido lo que recoge Fulcanelli sobre este asunto:

*“Uno de los maestros más celebres de la ciencia química, Marcellin Berthelot, no se limitó a adoptar la opinión de la Escuela. Contrariamente a la mayoría de sus colegas, que hablan audazmente de la Alquimia sin conocerla, consagró más de veinte años al estudio de los textos originales, griegos y árabes. Y de ese largo recorrido con los maestros antiguos, surgió en él la convicción de que «los principios herméticos, en su conjunto, son tan sostenibles como las mejores teorías modernas»<sup>130</sup>.*

En nuestros días, y aunque la unidad de la sustancia - base de la doctrina enseñada desde la Antigüedad por los alquimistas - sea admitida y oficialmente consagrada- no parece, sin embargo, que la idea de la transmutación haya seguido el mismo progreso.

Jean Finot<sup>131</sup> (1858-1922), propuso a científicos y pensadores de su época la siguiente pregunta referida a los trabajos alquímicos:

*“¿En el estado actual de la ciencia, la transmutación metálica es posible o realizable. Puede ser considerada, incluso, como realizada según nuestros conocimientos?”.*

Algunas respuestas que recibió fueron las siguientes:

Doctor Max Nordeau, Sociólogo, médico, periodista y escritor:

*«Permítame que me abstenga de toda discusión acerca de la transmutación de la materia. Adopto el dogma (es uno de ellos) de la unidad de aquella, la hipótesis de la evolución de los elementos químicos de peso atómico más ligero a más pesado, e incluso la teoría - imprudentemente llamada ley de la periodicidad de Mendeleiev. No niego la posibilidad teórica de rehacer artificialmente, con métodos de laboratorio, una parte de esa evolución, producida naturalmente en miles de millones o billones de años por las fuerzas cósmicas, y transformar en oro metales más ligeros. Pero no creo que nuestro siglo sea testigo de la realización del sueño de los alquimistas.».*

---

<sup>129</sup> Gearhart, H.C. *Theophilus' On Diverse Arts: The Persona of the Artist and the Production of Art in the Twelfth Century*. The University of Michigan: Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy (History of Art), 2010. [Consulta 10-11-2018]. Disponible en: <https://arhpee.typepad.com/Theophile%20par%20Gearhart.pdf>

<sup>130</sup> Fulcanelli. *Las Moradas Filosóficas*. Ed. Plaza y Janés: Barcelona, 1971. Pp. 47. ISBN: 840131013X.

<sup>131</sup> Reconocido periodista, sociólogo y antropólogo francés.

Henri Poincare, prestigioso polímata: matemático, físico, científico teórico y filósofo de la ciencia:

*«La ciencia no puede y no debe decir jamás. Tal vez un día se descubra el principio de fabricar oro pero, por el momento, el problema no parece resuelto.»*

Madame M. Curie, Premio Nobel de Física en 1903 y de Química en 1911:

*«Sí es verdad que han sido observadas transformaciones atómicas espontáneas con los cuerpos radiactivos (producción de helio por esos cuerpos que usted señala, lo cual es perfectamente exacto), se puede, por otra parte, asegurar que ninguna transformación de cuerpo simple ha sido aun obtenida por el esfuerzo de los hombres y gracias a dispositivos imaginados por ellos. Es, pues, del todo inútil, hoy, considerar las consecuencias posibles de la fabricación del oro.»*

Gustave Le Bon, sociólogo y amante de la Física:

*«Es posible que se transforme acero en oro como se transforma, según dice, el uranio en radio y en helio, pero esas transformaciones no afectan más que a milmillonésimas de miligramos, y entonces sería mucho más económico obtener oro del mar, que contiene toneladas de el.»*

Diez años más tarde, una revista de divulgación científica realizó la misma encuesta y publicó las opiniones siguientes:

Charles Richet, Premio Nobel de Medicina en 1923:

*«Confieso que carezco de opinión acerca de este asunto.»*

Urbain y Jules Perrin:

*«De no producirse una revolución en el arte de explotar las fuerzas naturales, el oro sintético -si no es una quimera -, no valdrá la pena de ser explotado industrialmente.»*

Charles Moureu, doctor en ciencias Físicas, Químico orgánico y académico:

*«La fabricación del oro no es una hipótesis absurda. Es casi la única afirmación que puede emitir un verdadero sabio[...]. Un sabio no afirma nada "a priori" [...] La transmutación es un hecho que comprobamos todos los días.»*

En el libro de Arribas<sup>132</sup> se cita al ya varias veces referido alquimista Fullcanelli (desaparecido y buscado por la Comisión 'Alsos' de la CIA americana), quien al parecer había obtenido la piedra filosofal y tenía conocimiento de que algunos alquimistas sabían desde hacía tiempo ciertas disposiciones geométricas de materiales extremadamente puros<sup>133</sup> que eran válidas para desencadenar las fuerzas atómicas, sin necesidad de utilizar la electricidad ni

---

<sup>132</sup> Arribas Jimeno, S. *Alquimia Descrita por un Científico Moderno*, Universidad de Oviedo, 1991. Pp. 86. ISBN:84-7468-506-0.

<sup>133</sup> Recuérdese que el enriquecimiento del isótopo fisible ( $U^{235}$ ) a partir del uranio natural, mezcla de  $U^{238}$ (99%) y  $U^{235}$ (<1%), es un proceso costoso que requiere muchas etapas de centrifugado y vacío.

técnicas de vacío. En 1942 Fermi construyó la primera pila de uranio o pila atómica en la que se demostró que la misma se basa en la disposición geométrica de sustancias extremadamente puras. Y muy pronto apareció el armamento nuclear utilizado en la segunda guerra mundial. El premio Nobel de Química en 1921, Frederic Soddy (1877-1956), en sus trabajos sobre la química de los cuerpos radiactivos, en su obra *L'Interpretation du Radium* dice:

“Pienso que existieron en el pasado civilizaciones que conocieron la energía del átomo y que fueron totalmente destruidas por el mal uso de esta energía”<sup>134</sup>.

La transmutación de la materia disfrutó de un momento positivo en el siglo XX, cuando los físicos lograron transformar átomos de plomo en átomos de oro mediante reacciones nucleares. Sin embargo, los nuevos átomos de oro, al ser isótopos muy inestables, tienen una vida inferior a cinco segundos antes de desintegrarse. Más recientemente, informes de transmutación de elementos pesados —mediante electrólisis o cavitación sónica— fueron el origen de la controversia sobre la fusión fría<sup>135</sup> en 1989. Ninguno de estos hallazgos ha podido ser aún reproducido con fiabilidad.

Al margen de los trabajos de Rutherford en 1919, y de Glenn T. Seaborg en 1980, que posteriormente se citan, en 1964 George Ohsawa y Michio Kushi<sup>136</sup>, basándose en una de las primeras afirmaciones de Corentin Louis Kervran, informaron haber logrado transmutar sodio en potasio usando un arco eléctrico, y más tarde carbono y oxígeno en hierro<sup>137</sup>. En 1994, J. Bockris y R. Sundaresan<sup>138</sup> informaron haber observado reacciones de fusión en descargas eléctricas entre barras de carbono sumergidas en agua pesada. Sin embargo, ningunas de estas afirmaciones han sido reproducidas por otros científicos y la idea está en la actualidad desacreditada.

#### 1.4.8. Declive de la Alquimia Occidental

El progreso hacia el conocimiento de la materia fue un motor importante que condujo, de modo acelerado, a que distintos personajes que practicaban la alquimia evolucionasen hacia el método científico, pero conviviendo con la filosofía alquimista.

---

<sup>134</sup> Pauwels, L. y Bergier, J. *Retorno de los Brujos*. Plaza y Janés: Barcelona, 1961. Pp. 120-121. ISBN: 9788401334009.

<sup>135</sup> La reacción nuclear se inicia a temperatura ambiente, a diferencia de la termonuclear que se inicia a elevada temperatura.

<sup>136</sup> Ohsawa, G. y Kushi, M. *Introducción de la Macrobiótica en USA.*, muy vinculada con la longevidad.

<sup>137</sup> *El Conocimiento de la Materia en las Culturas Antiguas*. [Consulta: 21-10-2018]. Disponible en: <https://vdocuments.mx/quimica-558494a32689b.html>.

<sup>138</sup> Bockris, J. y Sundaresan, R. *Electrochemistry, Tritium and Transmutation*. Texas A&M University. Pp. 123-128. 1994. [Consulta 9-01-2018]. Disponible en: [http://coldfusioncommunity.net/pdf/conf/ISCF/123\\_ISCF.pdf](http://coldfusioncommunity.net/pdf/conf/ISCF/123_ISCF.pdf).

*“La desaparición de la Alquimia occidental se debió al auge de la ciencia moderna con su énfasis en la rigurosa experimentación cuantitativa y su desdén hacia la «sabiduría antigua». Aunque las semillas de estos sucesos fueron plantadas ya en el siglo XVII, la Alquimia aún prosperó durante unos doscientos años, y de hecho puede que alcanzase su apogeo en el siglo XVIII. Tan tarde como en 1781 James Price (1752-1783) afirmó haber producido un polvo que podía transmutar el mercurio en plata u oro. Igualmente, otro alquimista conocido era el arzobispo húngaro Jorge Lipa (1600 – 1666), quien realizó varias investigaciones para el emperador germánico Leopoldo I de Habsburgo, entusiasta creyente de la teoría de la transmutación de los metales a oro. Robert Boyle (1627–1691), más conocido por sus estudios sobre los gases fue uno de los pioneros del método científico en las investigaciones químicas. Boyle no asumía nada en sus experimentos y recopilaba todos los datos relevantes: en un experimento típico anotaba el lugar en el que se efectuaba, las características del viento, las posiciones del sol y la luna y la lectura barométrica, por si luego resultasen ser relevantes. Este enfoque terminó llevando a la fundación de la química moderna en los siglos XVIII y XIX, basada en los revolucionarios descubrimientos de Lavoisier y John Dalton, que finalmente proporcionaron un marco de trabajo lógico, cuantitativo y fiable para entender las transmutaciones de la materia”<sup>139</sup>.*

*“Mientras tanto, la Alquimia paracélsica llevó al desarrollo de la medicina moderna. Los experimentalistas descubrieron gradualmente los mecanismos del cuerpo humano, tales como la circulación de la sangre [Harvey, 1616], y finalmente localizaron el origen de muchas enfermedades en las infecciones con gérmenes [Koch y Pasteur, siglo XIX] o la falta de nutrientes y vitaminas naturales [Lind, Eijkman, Funk et al., siglos XIX y XX]. Apoyada en el desarrollo paralelo de la química orgánica, la nueva ciencia desplazó fácilmente a la Alquimia en sus aplicaciones médicas, interpretativas y prescriptivas, mientras apagaba sus esperanzas en elixires milagrosos y mostraba la ineffectividad e incluso toxicidad de sus remedios”<sup>140</sup>.*

Se produce así un cambio de enfoque en la forma de trabajar y se abandonan, de modo progresivo, pero con la permanencia de algunos alquimistas hasta nuestros días, las ideas alquímicas para entrar en la química moderna. Para los estudiosos que añoren el pasado, siempre pueden recurrir a la gran colección de libros sobre Alquimia que se guarda en ‘The Ritman Library’<sup>141</sup>, Bibliotheca Philosophica Hermetica de Ámsterdam.

---

<sup>139</sup> Pilkington, R. *Robert Boyle : Father of chemistry* (Men and discoveries library). John Murray: London, 1959. Pp. 11. ISBN: 10: 071950130X.

<sup>140</sup> [Consulta: 27-10-2018]. Disponible en: [www.alquimistaytp.blogspot.com/2016/11/la-Alquimia.html](http://www.alquimistaytp.blogspot.com/2016/11/la-Alquimia.html).

<sup>141</sup> [Consulta: 19-2-2018]. Disponible en: <http://www.ritmanlibrary.com/>.

## 1.5. Aproximación a la Química moderna

La Real Academia Española de la Lengua (RAE) define Ciencia como:

*"conjunto de conocimientos obtenidos mediante la observación y el razonamiento, sistemáticamente estructurados y los que se deducen principios y leyes generales con capacidad predictiva y comprobables experimentalmente"*.

y Química, como:

*"Ciencia que estudia la estructura, propiedades y transformaciones de los cuerpos a partir de su composición"*.

La Ciencia Química<sup>142</sup> no está interesada en propiedades accidentales de la materia (tamaño, forma, etc.) sino en sus propiedades específicas y también en los cambios continuos que le afectan, que se reconocen como reacciones químicas, cuyo mecanismo depende de la estructura íntima de cada partícula que forma parte de su propia composición.

El conocimiento de la materia se ha adquirido a lo largo del tiempo mediante procesos perfectamente definidos de observación y de razonamiento, que ya se han recogido anteriormente en este trabajo. Inicialmente el proceso consistió en la mera observación de los fenómenos naturales para describirlos. Posteriormente, al observarse múltiples veces ciertos fenómenos, se constataron determinados comportamientos que permitieron generalizar los fenómenos observados, bajo la formulación de leyes que no existen más que en el pensamiento del hombre, que tiene capacidad incluso de expresarlas de forma matemática, de la que carecen- al menos esta es la creencia generalizada- los animales, las plantas y los metales.

En el proceso evolutivo de la razón se formulan explicaciones conocidas como hipótesis, sobre las que se fundamentan las leyes. Y son estas hipótesis y leyes las que permiten realizar predicciones que se contrastan con los hechos reales observados. Y si hay concordancia, la hipótesis se asume y pasa a constituir una teoría, con un significado siempre más amplio que la hipótesis.

Hipótesis y teorías permiten planificar experimentos para obtener resultados deseados en forma rápida, descartándose falsos conceptos, perfeccionando las teorías incompletas y descubriendo nuevos principios. Esta forma de proceder constituye el denominado método científico, aplicable a las distintas ramas de la Ciencias Físicas (Astronomía, la Geología, Física y Química), y de las Ciencias Biológicas (Botánica, Zoología, Fisiología, etc.), si bien el progreso científico hace cada vez más difícil establecer límites precisos entre todas y cada una de las Ciencias.

---

<sup>142</sup> Química es la ciencia que se dedica al estudio de la estructura, las propiedades, la composición y la transformación de la materia. Es posible considerar a la química de hoy como una actualización o una forma evolucionada de la antigua Alquimia, pero abandonando su componente mística.

### 1.5.1. La Ciencia Moderna: Lavoisier y la revolución química

Según Laidler<sup>143</sup>, la palabra Ciencia, tal como ha sido empleada por lo menos hasta el inicio de la segunda mitad del siglo XX, solo se empezó a usar en el siglo XIX. Antes se hablaba, entre quienes se ocupaban de estudiar los fenómenos físicos de la naturaleza, de "Filosofía Natural", y sus estudiosos eran reconocidos como "filósofos de la naturaleza".

Resaltamos aquí, por su interés para los objetivos que se persiguen en este trabajo de investigación aplicada, una parte de la recopilación histórica publicada por Babor e Ibarz:

*“Es Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794) el que destruye la teoría del flogisto al establecer la naturaleza verdadera de la combustión, y que en su obra Tratado Elemental de Química, aparecido en 1789, crea las bases de la química moderna[...] Lavoisier, empleando la balanza que fue siempre su más exacto colaborador [...] Calcina estaño en un vaso cerrado y comprueba que el peso total del vaso no ha cambiado con la calcinación, que el metal transformado en su “cal” (el óxido) ha aumentado de peso, que el peso del aire contenido en el vaso ha disminuido y que el aumento de peso del metal es igual a la disminución de peso del aire [...] Lavoisier establece la noción precisa de cuerpo puro al demostrar que la destilación repetida del agua no cambia sus propiedades, adopta el concepto de elemento de Boyle, pero no lo basa en el resultado experimental, halla la composición del agua, no solo por síntesis sino por análisis. En todas sus investigaciones utiliza sistemáticamente el principio de la conservación de la materia: ‘nada se pierde, nada se crea’ [...] La revolución química producida por las ideas de Lavoisier condujo a una nueva nomenclatura, que hoy nos parece tan natural, en la que los nombres de los cuerpos dan idea de su constitución. Esta labor fue debida, junto a Lavoisier, a Guyton de Morveau (1737-1816), Berthollet (1748-1822) y Fourcroy (1755-1809), que publicaron en 1787 su obra Método de Nomenclatura Química, en la que se introducen nombres que aún se utilizan [...] La teoría atómica de Dalton (1766-1844), que da a conocer sus trabajos en 1808, da paso a la notación química desarrollada por Berzelius (1779-1848) [...] El Principio de Avogadro (1776-1856) permite establecer y diferenciar los conceptos de átomo y de molécula y crea las bases para la determinación de pesos moleculares y atómicos [...] El descubrimiento de la pila eléctrica por Volta (1745-1827) da origen a la Electroquímica, con los descubrimientos de nuevos elementos (cloro, sodio, potasio) por Davy (1778-1829), [el descubrimiento de la naturaleza eléctrica de los impulsos nerviosos en los animales por Galvani<sup>144</sup> (1737-1798) ] y la formulación de las leyes de la electrólisis por Faraday (1791-1867) fueron formuladas en 1831] [...] Para explicar el comportamiento de las sustancias gaseosas resurge a mediados del siglo XIX la teoría cinética de los gases y del calor, la cual afianza la creencia en la naturaleza atomística de la materia y extiende su utilidad al suministrar una imagen íntima del mecanismo de los procesos químicos [...] El estudio de la velocidad de las reacciones químicas tiene su base teórica en la ley de acción de masa de Guldberg y Waage (1867) y una significación industrial importantísima en el descubrimiento de los*

---

<sup>143</sup> Laidler, K. J. *The world of Physical Chemistry*. Oxford University Press: New York, 1995. Pp.12. ISBN: 0-19-855597-0.

<sup>144</sup> Galvani, L. *De viribus electricitatis in motu musculari commentarius*. Bolognia, 1791.

*catalizadores sustancias que, permaneciendo inalteradas, aceleran con su sola presencia la velocidad de las reacciones químicas [...] De gran importancia en el progresivo avance de la Química han sido la teoría de las disoluciones, obra maestra de Van't Hoff (1886), y la teoría de la disociación electrolítica de Arrhenius (1859-1927) (publicada en 1887)" [...] La Clasificación periódica de los elementos establecida por Mendelejew (1834-1907) y por Lothar Meyer (1869) llevó a pensar que los átomos debían ser complejos*<sup>145</sup>.

La teoría de Arrhenius fue perfeccionada en 1923 por Brønsted (1879-1947) y Lowry (1874-1936), quienes definieron el comportamiento de los ácidos y las bases por su capacidad de donar (ácidos) o captar (bases) protones ( $H^+$ ), introduciendo el concepto de par conjugado ácido-base, que ayuda a comprender por qué un ácido (o una base) fuerte, desplaza a otros más débiles de sus componentes, y que el comportamiento ácido o básico no se limita a soluciones acuosas como estableció Arrhenius, sino que es aplicable también a fases gaseosas en las que producen transferencia de protones. Durante el siglo XX se ha conocido la estructura del átomo en mayor profundidad, lo que ha permitido predecir su comportamiento.

*"La historia de la Química, uno de los más bellos capítulos de la historia del espíritu humano, es en realidad la historia del lento desarrollo del pensamiento científico y de los rápidos resultados conseguidos después en la aplicación sistemática y progresiva del método científico al estudio de la materia"*<sup>146</sup>.

En la época actual se han realizado progresos para alcanzar algunas de las metas de la Alquimia, aunque usando métodos científicos. Podría decirse que el objetivo de la investigación en inteligencia artificial (IA o AI) es precisamente crear una vida desde cero, y los filosóficamente opuestos a la posibilidad de la Inteligencia Artificial la han comparado con la Alquimia, como Dreyfus<sup>147</sup> hace en su ensayo. Sin embargo, debido a que el objetivo específico de la Alquimia es la transmutación humana más que la creación de vida desde cero, la investigación génica, especialmente el ajuste<sup>148</sup>, estaría más cerca de la misma.

En 1919 Ernest Rutherford (1871-1937) usó la desintegración artificial para convertir nitrógeno en oxígeno, aunque usando métodos de bombardeo nuclear y sin piedra filosofal. Este proceso o transmutación ha sido posteriormente realizado a escala comercial mediante el bombardeo de núcleos atómicos con partículas de alta energía en aceleradores de partículas y reactores nucleares.

---

<sup>145</sup> Babor, J.A., Ibarz, J. *Química General Moderna*. Ed. Marín: Barcelona, 1964. Pp.18-21, ISBN: 8471029979.

<sup>146</sup> Babor, J.A., Ibarz, J. *Química General Moderna*. Ed. Marín: Barcelona, 1964. Pp.6. ISBN: 8471029979.

<sup>147</sup> Dreyfus, H.L. *Alchemy and Artificial Intelligence*. Rand Corporation. Santa Monica: California, 1965. P-3244. [Consulta: 28-4-2019]. Disponible en: <https://www.rand.org/pubs/papers/P3244.html>.

<sup>148</sup> Unión de componentes genéticos relacionados con el ARN (ácido ribonucleico).

La idea de convertir plomo en oro no es del todo incorrecta ya que, teóricamente, bastaría extraer 3 protones de un átomo de plomo (de los 82 protones que tiene su núcleo) para obtener otro, pero de oro (79 protones). De hecho, el Premio Nobel de Química en 1951, Glenn T. Seaborg (1912-1999) dijo en 1980 sobre la transmutación de los metales que:

*“transmutó plomo en oro, solo que el oro resultante apenas dura unos segundos por su inestabilidad atómica y la cantidad obtenida es tan microscópica que hace impensable su rentabilidad”*<sup>149</sup>.

Según Descartes<sup>150</sup> (1.596 – 1.650), espíritu y materia son dos realidades completamente separadas entre sí que, por designio divino, sólo convergen en un punto del cerebro humano.

## 1.6. Aproximación al color en Pintura y Escultura

La RAE define Pintura de distintas formas:

1. Arte de pintar.
2. Tabla, lámina o lienzo en que está pintado algo.
3. Obra pintada.
4. Color preparado para pintar.

Y color, entre múltiples variantes, como sensación producida por los rayos luminosos que impresionan los órganos visuales y que depende de la longitud de onda. Pero el color aplicado a metales, según su procedencia, puede ser idéntica a la definición anterior o denominarse pátina, que la RAE define como:

1. Especie de barniz duro, de color aceitunado y reluciente, que por la acción de la humedad se forma en los objetos antiguos de bronce.
2. Tono sentado y suave que da el tiempo a las pinturas al óleo y a otros objetos antiguos.
3. Este mismo tono obtenido artificialmente.
4. Carácter indefinible que con el tiempo adquieren ciertas cosas.

Vázquez Calvo<sup>151</sup> hace un amplio repaso histórico del origen etimológico del término pátina, muy enfocado su trabajo hacia la piedra monumental, pero

---

<sup>149</sup> [Consulta: 9-2-2019]. Disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Glenn\\_T.\\_Seaborg](https://es.wikipedia.org/wiki/Glenn_T._Seaborg).

<sup>150</sup> Descartes, R. *Meditaciones Metafísicas*. 1641. [Consulta: 9-2-2019]. Disponible en: [https://mercaba.org/Filosofia/Descartes/med\\_met\\_alfaguara.PDF](https://mercaba.org/Filosofia/Descartes/med_met_alfaguara.PDF).

<sup>151</sup> Vázquez Calvo, M. *Técnica Tradicional de Protección y Embellecimiento de la Piedra en el Patrimonio Arquitectónico: Pátinas Históricas en la Península Ibérica*. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Geológicas: Departamento de Petrología y Geoquímica. UCM. Madrid 2013. Pp 35-52

absolutamente aplicable tanto a pintura como a escultura. Recurriendo a citas de Bosanti, Battisti y Alessio (1954) ponen de manifiesto que el término pátina ya se utilizaba en 1657, fecha de una carta enviada por Paolo del Sera a Leopoldo de Medici, en la que se lee:

*“la troppa freschezza del quadro abbia dato fastidio, perché in effetto quella patina che dà il tempo è una cosa che alletta assai, e dà una certa unione che piace”*<sup>152</sup> [la elevada frescura de la imagen ha molestado, porque en efecto esa pátina que da el tiempo es algo que atrae mucho y da una cierta unión que agrada].

En este trabajo entendemos que **pátina** es el tono sentado y suave que da el tiempo, o la intervención de la mano del hombre, sobre una superficie metálica por reacción química entre el metal base y agentes externos. Y por **pintura**, la superposición de pigmentos a un soporte sin que en momento alguno haya reacción química entre el soporte y los componentes del pigmento. Doerner<sup>153</sup> y Palet<sup>154</sup> realizan un amplio trabajo sobre la composición de los pigmentos.

En consecuencia, la diferencia reside en que la pintura puede eliminarse sin dañar el soporte, mientras en la pátina, al tratarse de una reacción química, se requiere generalmente eliminar una capa de la superficie del metal base o soporte para eliminar la misma.

La **pátina natural** se produce en muchos metales y sus aleaciones cuando los mismo son expuesto a lo largo del tiempo a la acción de la humedad y la oxidación por la presencia de oxígeno y otros productos en el aire.

La pátina es **falsa pátina** cuando se produce una coloración mediante la adición de pigmentos y aceites a la superficie del metal, sin que se produzca una reacción entre el metal y la película de la mezcla pigmento-aceite.

Por último, se dice que es una **pátina química** la que se produce al forzar reacciones químicas de determinados productos con la superficie del metal, produciéndose un envejecimiento (por oxidación o reducción) acelerado. En definitiva, se trata de un proceso de corrosión, presuntamente deseada y difícilmente controlada.

Tanto la pátina natural como la pátina química producen reacciones químicas en la superficie del metal, produciendo en general una pasivación a posteriores oxidaciones/reducciones, es decir, a que los procesos de corrosión continúen. La composición del metal base, y las condiciones de humedad y temperatura, afectan a la amplitud de las reacciones químicas que tienen lugar en la superficie

---

<sup>152</sup> Bonsanti, G. (2004). *Il punto di vista dello storico dell'arte*. En: P. Tiano y C. Pardini (editores), *Le Patine: Genesi, significato, conservazione*. Nardini Editore, Firenze. 2004. Pp. 55-65.

<sup>153</sup> Doerner, M. *Los materiales de pintura y su empleo en el arte*. Edit. Reverté, Sexta Edición española, Barcelona, 1998. Pp.42-84. ISBN: 84-291-1423-8.

<sup>154</sup> Palet, A. *Tratado de pintura: Color, pigmentos y ensayo*. Ed. Universitat de Barcelona. 2002. Pp. 86. ISBN: 84-8338-313-6.

del metal. Por ejemplo, en una escultura es prácticamente imposible conseguir el mismo color en toda su superficie, lo que constituye con frecuencia un atractivo adicional por la singularidad que produce la pátina sobre la estética global de la misma.

El proceso de dar pátinas ha sido un arte/oficio más que una ciencia, si bien la ciencia química aporta notable conocimiento sobre el comportamiento de la materia ante distintas situaciones, lo que permite mejorar sustancialmente el proceso. Por ello, es necesario destacar que la experimentación juega un papel relevante en el resultado de una pátina, siendo difícil que se den idénticas condiciones de composición del metal base y de condiciones de entorno medioambiental para obtener idéntico resultado.

Aunque pueda pensarse que el color es un aspecto secundario en la escultura, muy centrada en el volumen, frecuentemente es un proceso completamente distinto y posterior que persigue darle un acabado más atractivo a la obra escultórica, realizándola. Es conocido que en la época griega las esculturas de piedras (mármol, calizas, etc.) eran pintadas, no habiéndose conservado esta pintura, por lo que actualmente no suele conocerse este aspecto. Solamente se ha conservado parcialmente algunos frisos, como el:

*“Mausoleo de Halicarsano en Asia Menor, que se dio a conocer en 1862, atribuido a Escopas (s.IV a.C.), que mostraba haber sido intensamente pintado con el fondo azul ultramar y las carnaciones rojizas”* <sup>155</sup>.

En la Exposición Internacional de Londres en 1862, Jonh Gibson (1870-1866) expuso una Venus<sup>156</sup> que rememoraba la forma de trabajar de los escultores griegos. Figura 25.a.

Este trabajo de investigación va a partir del proceso de dar pátina a metales frecuentemente utilizados en escultura clásica y contemporánea, como son el cobre y sus aleaciones (latón y bronce), el cinc, el acero al carbono como aleación básica del hierro<sup>157</sup>, y, en menor medida el aluminio, metal éste último que se está utilizando en escultura moderna.

Los procesos de fundición de metales emplean la temperatura como magnitud fundamental que permite alcanzar los puntos de fusión de los metales, afectando la misma tanto a la composición de las aleaciones que se produce como a la estructura de cristalización del propio metal durante su fase de enfriamiento, resultando en general una superficie oxidada por el contacto del metal caliente con el oxígeno y la humedad del aire. Este proceso de oxidación, muy evidente a alta temperatura, también se produce, aunque mucho más lentamente, a menores temperaturas. Buen ejemplo es el orín rojizo que aparece en los aceros no aleados o el color verde que resulta en estatuas de bronce expuestas a

---

<sup>155</sup> Gage, J. *Color y Cultura*. Ediciones Siruela: Madrid, 2011. Pp. 11. ISBN: 13: 9788478443802.

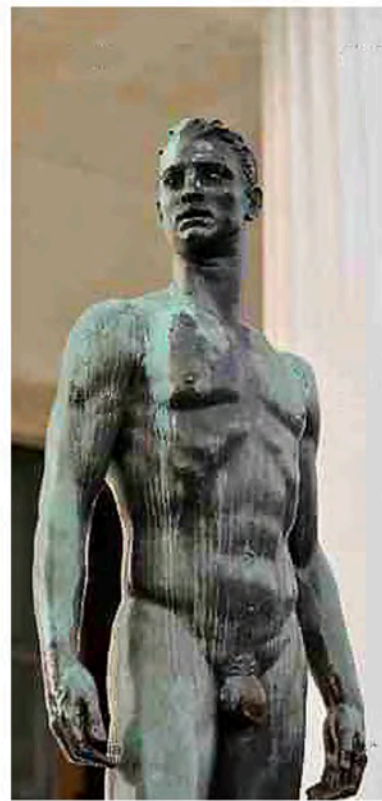
<sup>156</sup> Flynn, T. *El cuerpo en la escultura*. Ed. AKAL: Madrid, 2002. Pp. 118. ISBN: 978-84-460-1154-5.

<sup>157</sup> Entre las muchas aleaciones del hierro que buscan propiedades específicas se encuentran los aceros inoxidable y el acero cortén, ambos de uso frecuente en escultura.

entornos húmedos y contaminados, particularmente si están situados próximos al mar por la agresividad que tiene el ion cloruro de la sal sobre muchos metales (cobre y sus aleaciones, hierro/ acero al carbono no aleado). Estos entornos generan reacciones de oxidación en la superficie del metal que dan lugar a pátinas naturales muy características<sup>158</sup>. Figura 25.b.



a



b

**Figura 25. Venus de Gibson y Atleta griego**

El bronce es una aleación apreciada, situándose en el puesto tercero en el ranking de los metales, tras el oro y la plata, como se resalta históricamente en las medallas de los juegos olímpicos. El bronce, además, es el metal más utilizado para la fundición de esculturas, muy por delante de la plata, el oro y el plomo, que se han utilizado desde la antigüedad en piezas de pequeños formatos. La composición básica del bronce es cobre y estaño, si bien existen muchas variedades, que pueden incluir en su formulación uno o varios de los siguientes metales: zinc, plomo, silicio, arsénico (no se utiliza en la actualidad por su toxicidad), manganeso, hierro, níquel, silicio y fósforo. Algunas variedades

<sup>158</sup> [Consulta 2-04-2019]. Disponible en: [https://es.123rf.com/photo\\_11074242\\_deportivo-estatua-de-bronze-de-hombres-con-una-mirada-anhelo-en-frente-de-las-columnas-griegas.html?fromid=RG1IUHNjZFhBMEhRN2UwZ2x2ZU9UUT09](https://es.123rf.com/photo_11074242_deportivo-estatua-de-bronze-de-hombres-con-una-mirada-anhelo-en-frente-de-las-columnas-griegas.html?fromid=RG1IUHNjZFhBMEhRN2UwZ2x2ZU9UUT09)

de bronce son muy utilizadas en fundición artística, como el bronce Everdur (Cu96Si4Mn1), el bronce 5-5-5 (Cu85Sn5Pb5Zn5), y el bronce fosforoso (Cu96Sn4P<1) que es el utilizado en este trabajo de investigación. En Japón, y para algunos autores<sup>159</sup> previamente en Egipto y Grecia, en la segunda mitad de primer milenio a. C [Edad Antigua], han sido muy utilizadas las aleaciones de cobre que en su composición incluyen oro (0,5-5%) y plata, como son las aleaciones conocidas en el país nipón como *Shakudo* (Cu/Au), *Shibuichi* (Cu/Ag) y *Kuromido* (Cu/As) a las que se dan pátina con una solución tradicional y secreta conocida como *Niuro*, que por su interés se tratará con posterioridad. En Japón se funden los componentes del bronce con una técnica especial que consiste en colar el bronce fundido sobre un molde de tela inmerso en agua, lo que produce una calidad de bronce superior por el tratamiento que supone el shock térmico. Este procedimiento de fundición se conoce como *yudokobuki*, que elimina tensiones internas en la aleación.

El latón es otra aleación muy extendida cuyos componentes principales son cobre y zinc, generalmente con una proporción de cobre superior al 50% en peso [Norma DIN 1718]. Los latones con un contenido de zinc situados entre 30% y 40%, se dice que son latones amarillos, a diferencia de los latones rojos, con un porcentaje de zinc inferior al 20%.

En este trabajo se han utilizado fundamentalmente probetas de las siguientes características:

- Cobre electrolítico (Cu>99,9% y P<0,1%)
- Bronce fosforoso (Cu 96%, Sn 4%, P< 0,25%)
- Latón amarillo (Cu 65%-Zn-35%)
- Zinc (Zn>98,5%)
- Acero al carbono (Fe>99%, C<1%)
- Aluminio (95,85%<Al>98,56% -0,4<Mg> 0,8 -0,4<Si>0,8 ...)

Las referencias escritas más antiguas sobre el color se remontan al siglo V a.C.:

*“Empédocles desarrolló una teoría sobre la mezcla de pigmentos para ilustrar la armonía existente entre los cuatro elementos (tierra, aire, fuego y agua), que según él, el elemento ardiente del ojo es lo que percibe lo blanco, y el elemento acuoso, lo negro.....mientras que Demócrito habla de cuatro colores simples: el blanco, relacionado con la suavidad, el negro con la aspereza, el rojo con el calor y el chlōron (verde pálido), que se compone de lo sólido y lo vacío. Los restantes colores se obtienen mezclando éstos”. ... Aristóteles identifica en su tratado De sensu et sensibili cinco colores intermedios por combinación de lo claro y lo oscuro: el carmesí, el violeta, el verde claro, el azul oscuro, el gris (que para él era una variedad del negro) y el amarillo (que debía clasificarse con el blanco)”<sup>160</sup>.*

---

<sup>159</sup> Craddock, P., and Giunilia-Mair, A. *Hsmn-Km, Corinthian bronze, shakudo: black patinated bronze in the ancient world*. Metal plating and patination. Ed. Susan La Niece and Paul Craddock: Oxford-UK.,1993. Pp. 1.

<sup>160</sup> Gage, J. *Color y Cultura*. Ediciones Siruela.: Madrid, 2011. Pp. 11,12 y15. ISBN: 13: 9788478443802.

Cita Gage al pintor más famoso de la antigüedad, Apeles (352 a.C - 308 a.C.), del que no se conserva obra alguna, que utilizaba una paleta cuatricromática compuesta por el negro, el blanco, el rojo y el amarillo.

A lo largo de la Historia se han producido numerosos debates sobre las mezclas de colores y sobre la selección del mínimo número de colores que permiten disponer de la gamma completa de tonalidades. La complejidad de las mezclas de colores condujo a que en la Edad Media se evitara la clasificación de los colores abstractos, por lo que se centraron en pigmentos concretos. En el manuscrito medieval *De Arte Illuminandi* (Iluminación de Manuscritos), siglo XIV, se atribuye a Plinio la opinión de que existen solo tres colores principales, el negro, el blanco y el rojo, y que todos los colores restantes se hacen con mezclas de aquellos. Sin embargo, Cennini<sup>161</sup> relata que existen siete colores naturales, cuatro de ellos minerales (negro, rojo, amarillo y verde) de los que todos salvo el negro necesitan ser mezclados con el blanco, el azul ultramarino o de Alemania (azurita) y el *giallorino* ( $Pb_2SnO_4$ , amarillo). En el siglo XVII Boyle consideraba básica la triada rojo-amarillo y azul, que junto al blanco y el negro permitían producir por mezcla casi cualquier color. Huertas hace una extensa recopilación y adaptación de procedimientos pictóricos clásicos, recomendando los siguientes colores, referidos a pintura tradicional:

*“Blancos: Blanco de plomo o albayalde, blanco de zinc, blanco de titanio.  
Amarillos: Amarillo de cadmio medio  
Tierras: Ocre amarillo (óxido de hierro sintético), y natural tierra Siena natural, Sombra tostada, tierra Sevilla.  
Rojos: Rojo de cadmio, óxido rojo, carmín de alizarina.  
Violetas: Violeta de cobalto.  
Azules: Azul de cobalto, azul cerúleo, azul de manganeso, azul ultramar.  
Verdes: Verde esmeralda, verde óxido de cromo, tierra verde.  
Negros: Oxido de hierro negro, negro marfil.  
Todos estos colores deben tenerse en forma de pigmentos secos para usarlos según la técnica en la que se vayan a emplear”<sup>162</sup>.*

Debe mencionarse la importante contribución del mosaico monumental al color. La arquitectura paleocristiana supo transferir el mosaico de los suelos a los muros y bóvedas buscando fundamentalmente efectos de luz, simbolismo asignado a la divinidad:

*“Inicialmente los mosaicos griegos se hicieron con pequeñas piedras de distintas coloraciones, que en el siglo III a.C. evolucionaron hacia teselas de piedra cortadas regularmente [con forma cúbica], a las que se incorporaron posteriormente otras de terracota y vidrio pintadas, lo que proporcionó un considerable aumento de la gama cromática.... Particularmente cuando se introdujeron teselas doradas con una lámina de pan de oro, o de plata, insertada*

---

<sup>161</sup> Cennini, C. *El Libro del Arte*. Ediciones Akal: Madrid, 1988. Pp.48. ISBN: 9788476002841.

<sup>162</sup> Huertas Torrejón, M. *Recopilación de las técnicas pictóricas contenidas en los tratados españoles del siglo XVII y XVIII. Su reconstrucción y adecuación a las necesidades plásticas actuales. (adaptación personal)*, Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid.1985. Pp. 104-114.

*entre dos capas de vidrio... con lo que se conseguía un vehículo de luz en los mosaicos paleocristianos...y el desarrollo de las técnicas de encastrado....Este tipo de mosaico, tiene mucho que ver con un aspecto de la técnica musiva que puede relacionarse con la teoría del color contemporáneo, la mezcla óptica, claramente establecida por Ptolomeo en el siglo II a.C. ”<sup>163</sup>*

Sin embargo, en la escultura de metal, la policromía se realizaba por encastrado de dos o más metales para resaltar su distinto color.

### **1.6.1. Aproximación a las pátinas<sup>164</sup>**

El interés por conseguir obras que recuerden a las clásicas, particularmente del renacimiento italiano y de la China del siglo XII, ha conducido al deseo de imitar las patinas naturales que se han producido a lo largo del tiempo en determinadas obras.

Las obras clásicas que conocemos tienen una pátina derivada del proceso de producción y también, y en gran medida, del efecto del tiempo al que la escultura ha estado sometida por los avatares atmosféricos, por lo que prácticamente es imposible tener la seguridad de cómo se han originado esas pátinas.

Existen antecedentes que hacen pensar que el bronce se trabajó por primera vez en la India, al parecer estando esta práctica ligada a aspectos religiosos y sobrenaturales y ello en un doble sentido: por una parte, porque una de las principales razones que condujeron al proceso de fundición fue la creación de máscaras para actos rituales que anteriormente se hacían ajustando láminas de distintos metales sobre un armazón de madera tallada, y por otra, porque la dificultad de licuar el metal, a unos 1.000 °C, rodeó tradicionalmente a la fundición de un halo místico, de tabú que incluso hoy permanece en determinadas regiones del África negra, donde los fundidores instalan sus campamentos y se aíslan más de seis meses en las proximidades de las minas, no permitiendo, por ejemplo, que las mujeres se aproximen a la zona mientras dura el proceso. En este mismo sentido, un manuscrito asirio describe la necesidad de que personas no purificadas pasen por delante del horno de fundir, debiéndose hacer un sacrificio delante del “Ku-bu”, que es el embrión que da origen al nacimiento de las primeras gotas del metal líquido.

También hay antecedentes de algunos trabajos en metal en Anatolia (Turquía) realizados en el siglo III d. C. que son fundiciones en bronce que han sido parcialmente cubiertas en alguna de sus áreas con panes de plata en su acabado, al igual que otros acabados en esculturas egipcias realizados en

---

<sup>163</sup> Gage, J. *Color y Cultura*. Ediciones Siruela. Madrid, 2011. Pp. 40-42. ISBN: 13-9788478443802.

<sup>164</sup> Hughes, R, Rowe, M. *The Colouring, Bronzing and Patination of Metals*. Crafts Council: London, 1989. Pp. 9- 17, ISBN: 0-903798-60-3 y elaboración propia.

cobre en los que se han encontrado recubrimientos de arsénico que claramente no proceden de causa natural sino forzada por la persona que trabajó el metal. Estas obras han sido tratadas posteriormente con un compuesto de arsénico para darle color. De hecho, se han encontrado recubrimientos de arsénico en muchos metales de la Edad del Bronce y concretamente en el norte de Inglaterra, en el siglo II se han producido coloraciones durante el proceso de fundición tratando el metal caliente con derivados del arsénico o, alternativamente, por inmersión del objeto fundido en líquidos que contenían sales arsénicas.

Los acabados obtenidos por distintos procedimientos permiten asegurar que las pátinas clásicas no proceden de un sistema totalmente natural ya que no es razonable pensar que puedan darse condiciones naturales que produzcan los efectos que conducen a las pátinas.

En las pátinas químicas no pueden distinguirse si han sido realizadas a propósito o producidas por la propia naturaleza. Lo importante es el color que se obtiene con distintos tratamientos, que es el proceso de dar pátina.

La cabeza de los toros Uratianos (Mesopotamia) que se componen de dos aleaciones distintas: los cuernos están hechos de latón, que se dejaron sin colorear, mientras que el resto de la cabeza es de bronce con color negro, que fue claramente producida de modo artificial<sup>165</sup>. El toro fue símbolo de fertilidad y se utilizó en las distintas civilizaciones mesopotámicas (sumeria, acadios, amorreos y asirios) para componer las figuras antropomorfas, de apariencia humana de sus dioses, que decoraban con tiaras con cuernos de toro.

Otra forma de tratamiento de las superficies de metal, de las que hay evidencias y que es distinta a la de dar pátina, aunque está relacionada con ella, consiste en el enriquecimiento de la aleación metálica con un componente que posteriormente sea fácilmente eliminado por ataque químico, método que también fue utilizado por la cultura precolombina en América<sup>166</sup>.

Una punta de lanza desenterrada en la excavación arqueológica de Ur [en el desierto de Iraq] tiene la apariencia superficial de ser de oro puro y sin embargo su análisis arroja solamente un 30% de oro, lo que demuestra<sup>167</sup> que la superficie ha sido enriquecida por tratamiento químico. Este tipo de tratamiento, que implica el uso de productos químicos ácidos que ataquen a uno de los metales de una aleación y no a otros, fue frecuentemente utilizado en los procesos de dar pátina al cobre y sus aleaciones a lo largo de la historia.

El trabajo del metal en China, sobre metales no férricos, es probablemente la forma más familiar de la fundición de cobre o bronce para reproducir

---

<sup>165</sup> Smith, C.S. *Historical Notes on the Colouring of Metals*. Recent Advances in the Science and Technology of Materials. Vol.III. Plenum: New York, 1974. Pp.157-167. ISBN: 978-1-4684-7235-6

<sup>166</sup> Lechtman, H. *Gilding of Metals in Pre-Columbian Peru*. Application of Science in the Examination of Works of Arts: Boston, 1973. Pp. 31-56. ISBN: 10-0878460713

<sup>167</sup> Plenderleith, H.J. *Metal and Metal Technique*. Wooley Ed., The Ur Excavations. Vol II. London, 1934. Pp. 28. Sin ISBN

recipientes para rituales y se han producido en distintos periodos de su historia, en todos ellos con una riqueza importante del colorido de sus pátinas.

El trabajo del bronce asociado a vasijas para rituales<sup>168</sup> (Figura 26) aparece en China en el segundo milenio, existiendo numerosos ejemplos en la Dinastía Sang (1523-1028 a.C) y en la Dinastía Chou (1028-249 a.C). Muchas de estas vasijas han sobrevivido solo porque fueron enterrados en suelos alcalinos de China, que es conocido que producen una corrosión superficial que impide la destrucción de los objetos, resultando unas pátinas llenas de color. Sin embargo, hay que señalar que esto, que es cierto para los primeros bronce, no es aplicable a muchos bronce producidos posteriormente en los que se recurrió a pátinas artificiales.

Está demostrado que se implantó el sistema de patinas artificiales durante la Dinastía Chou sobre el siglo V a. C. y que está asociado con la producción de espejos de bronce, adornados con pátinas de un color negro muy resistente, cuya naturaleza aún se desconoce, aunque se sospecha que el proceso requería la inmersión del bronce en líquidos que contenían ácidos fuertes y posteriormente se ennegrecían en un proceso que implicaba al zinc. Finalmente eran recubiertos con una capa muy fina de material vítreo de composición desconocida. Este tipo de técnica, usando lacas y otros materiales resistentes, fueron empleados también en la producción de algunas armas de la época<sup>169</sup>.

---

<sup>168</sup> [Consulta 7-05-2019]. Disponible en: <http://www.uchina.com.ar/blog/2008/04/28/historia-de-china-dinastia-shang-yin-1766-a-1122-ac/>.

<sup>169</sup> Chase, W.T and Franklin, U.M. *Early Chinese Black Mirrors and Pattern Etched Weapons*. Ars Orientalis: 1979. Pp. 216-258.



**Figura 26. Vasija en bronce para rituales (Dinastía Shang)**

Una gran parte de los bronce producidos en la China primitiva fue destruida durante los siglos X a.C. al XIII a.C y fue un detonante para que posteriormente se hiciera un gran esfuerzo en producir copias de los bronce antiguos. El tratado "*Hsüan Ho Po Ku Tu Lu de Wang Fu*" sobre bronce antiguos, que incluía ilustraciones, fue la inspiración para muchas de estas copias. Ya en aquella época surgió la costumbre de dar pátinas artificiales a esas copias para rehacer fielmente el patrimonio cultural, lo que se practicó desde las Dinastías Shang (1766 a.C.-1122 a.C.) y Chou (1122 a.C. y 249 a.C.) hasta la Dinastía Ming (1368 - 1644) en la que ya se produjeron bronce de mayor calidad. Más recientemente, durante la última de las dinastías imperiales Ching en el siglo XVIII las pátinas tomaron un gran auge produciendo bronce con pátinas de gran calidad. Fortnum<sup>170</sup> cita una receta consistente en una mezcla de polvo de cinabrio, cardenillo (verdín), alúmina y sal de amoníaco con la que se hacía una pasta que se ponía sobre la superficie del objeto, que posteriormente se calentaba gradual y uniformemente.

La artesanía japonesa basada en el trabajo de metales floreció a partir de la entrada del Budismo, caracterizada por la imagen donada por el rey de Korea al emperador Japonés en el año 552 a.C. Japón se ha caracterizado por haber

<sup>170</sup> Fortnum, C.D. *Bronzes*. London. 1877.Pp. 41-42.

sabido desarrollar un conocimiento metalúrgico, nacido en China y Korea, que le ha permitido, ya en el siglo XV, producir aleaciones no férricas en base al cobre. El cobre fue producido con alta pureza mediante un sistema sencillo de horno<sup>171,172</sup> utilizando una tecnología que producía los lingotes de cobre bajo el agua, lo que originaba una reacción que conducía a que los mismos fueran rojos por el óxido de cobre que se formaba en su superficie.

La influencia del Budismo condujo a hacer cada vez estatuas de mayor tamaño y objetos de carácter religioso, decorativo o práctico, en los que predominaba el hierro fundido con incrustaciones de otros metales, como oro, plata, cobre o bronce, que admitieran la pátina (con la excepción del oro). Y las mezclas de estos metales condujo al desarrollo de aleaciones específicas que permitieran colorear los objetos en distintos tonos<sup>173</sup>. Así, por ejemplo, en la fabricación de monedas se emplearon aleaciones de oro y plata muy ricas en plata para darle inicialmente un aspecto brillante. Posteriormente se sometían a un proceso de calentamiento hasta el rojo vivo, previo empaste con sulfatos de hierro y cobre, nitrato potásico, cloruro sódico y resinas, que luego se sumergía en una solución concentrada de cloruro sódico, para proceder a su lavado y secado, obteniéndose así unas monedas con acabado aparente de oro puro.

En el mundo clásico de Grecia y Roma, el bronce fue ampliamente utilizado ya sea partiendo de lingotes o fundiendo sus componentes. Inicialmente las estatuas se hacían acoplado planchas de metal sobre armaduras de madera, uniendo unas con otras mediante acoplamientos. Posteriormente las figuras grandes se fundieron por partes<sup>174</sup>.

La primera fundición en bronce de una estatua se acredita al escultor griego Rhoecus, su hijo Telecles y Theodorus de Samos que aprendieron la técnica en Egipto. Ya en el siglo VII era utilizada la técnica de fundición por cera perdida, pero se limitaba a pequeños objetos, siendo los romanos quienes impulsaron la producción a mayor escala de pequeñas estatuillas. Hasta entonces era más frecuente tallar la piedra y pintarla con colores vivos. El descubrimiento en 1972 de las estatuas de Riace (Italia) (Figura 27) en el fondo marino entre 6 y 8 m. de profundidad, cada una de unos 2 m. de altura, perfectamente conservadas desde la fecha de su datación (año 450 a.C.) acreditó que estaban fundidas en bronce hueco, ya que se conservaba en buen

---

<sup>171</sup> Gowland, W. *Metals and Metalworking in Old Japan*. Transaction of the Japan Society. Nº 30. 1914-1915. Pp. 81-82.

<sup>172</sup> Gowland, W. *The Art of Casting Bronze in Japan*. Journal of The Society of Arts. Nº 43.1894. Pp. 523-536.

<sup>173</sup> Pijanowski, H.S., Pijanowski, E. *Lamination of non-Ferrous Metals by Diffusion: Adaptations of the Traditional Japanese Technique of Mokume-Gane*. Society of North America Goldsmith. Goldsmith Journal, 1977. 3(4). Pp. 57-58.

<sup>174</sup> Healey, J.F. *Mining and Metallurgy in the Greek and Roman World*. First Edition. Thames and Hudson: London, 1978. Pp. 18-19. ISBN: ISBN-10: 0500400350.

estado el macho (relleno refractario interior de la fundición<sup>175</sup>) y los anclajes de este con el exterior de la estatua. Las dos estatuas se atribuyen una a Myron (autor del famoso Discóbolo) y la otra a un discípulo de Phidias, llamado Alkámenes<sup>176</sup>.



**Figura 27. Estatuas A y B**

El historiador griego Mestrio Plutarco (50 - 120) recoge en una de sus obras comentarios sobre la pátina natural y sobre las zonas geográficas y climas que producen mejores patinas. Aristóteles y Plutarco comentan el hecho de conseguirse mejorar la patina natural de una fundición en bronce si se frota su superficie con aceite y materiales grasos. Plinio El Viejo<sup>177</sup> (23-79) describe la adición de metales al bronce, por ejemplo, plomo para hacerlo más fluido en caliente y producir patinas marrones y cita el intento del escultor griego Aristonidas que, según Plinio (14-50), poseía el secreto de dar a los metales

---

<sup>175</sup> Capello, E. *Tecnología de la Fundición*. 3ª Tirada. Ed. Gustavo Gil S.A: Barcelona, 1974. Pp. 80-82. ISBN:84-252-0278-7.

<sup>176</sup> [Consulta: 20-10-2018]. Disponible en: [http://en.wikipedia.org/wiki/Riace\\_bronzes](http://en.wikipedia.org/wiki/Riace_bronzes).

<sup>177</sup> Secundus. P. *Natural History*. Translated by H. Rackham. Harvard University Press. Volúmenes IX y X tratan la estatua de bronce. 1967.

las diferentes tintas de la fisonomía. En la estatua de Atamante, en Tebas, el bronce estaba combinado con el hierro, de manera que el orín de éste, contrastado con el brillo de aquél, expresaba el rubor de la vergüenza<sup>178</sup>.

Pero uno de los mayores progresos de los romanos en el trabajo del metal fue el sistema de unión de los metales por soldadura que, aunque desarrollado para fabricar armamento, también se utilizó para objetos domésticos y decorativos. El uso del estaño permitió evitar el verdín en los recipientes de cobre, haciéndolo más apto para ser usado para contener alimentos. Se desarrolló la aleación estaño y zinc (hojalata). En definitiva, Roma progresó mucho en la formulación de aleaciones de metales.

El desarrollo de las pátinas en los metales estuvo fuertemente vinculado al desarrollo de la fundición artística en general y del bronce en particular, ya sea en pequeño formato o en estatua.

Savage<sup>179</sup> hace un buen resumen de bronce del Renacimiento, al igual que Dupré<sup>180</sup> lo hace sobre bronce de pequeño formato en esta época histórica.

Las metodologías para aplicar las pátinas evolucionaron dando muchos matices individuales mediante un adecuado control del proceso de aplicación. Las pátinas no siempre perduraban cuando la escultura se exponía a la intemperie, pero en aquella época creció el interés por la escultura de pequeño formato para disfrute doméstico, sufriendo menos cambios al encontrarse en ambientes más protegidos. Los siglos XVI y XVII se caracterizaron por un creciente interés por la escultura clásica griega y romana, que se reprodujeron tanto para uso en el exterior como en objetos de carácter privado, dándoles uso como soportes para antorchas de iluminación (candelabros), saleros o vasijas. A estas esculturas, a veces vaciadas del natural (cangrejos, ranas, frutas, etc.). con frecuencia se les aplicaba pátina eran, y eran barnizadas para su conservación, formando partes ornamentales de cajas y contenedores. En este sentido hubo dos escuelas distintas en Italia, la Veneciana que barnizaba el bronce una vez se aplicaba la pátina, y la Toscana, a la que pertenecía Donatello y Bertoldo, que gustaba de dejar el bronce sin barniz. Cellini<sup>181</sup> en su tratado sobre Orfebrería y Escultura no menciona ninguna técnica de colorear metales, mientras que Giovanni Bologna aplicaba pátinas rojizas sobre el bronce fundido. Las pátinas verdosas eran con frecuencia asociadas a bronce clásicos, consecuencia de la acción del medio ambiente sobre ellos.

---

<sup>178</sup>[Consulta:28-10-2018]. Disponible en: <http://www.mcnbiografias.com/app-bio/do/show?key=aristonidas>.

<sup>179</sup> Savage, G. *Concise History of Bronze*. Thames and Hudson: London, 1968. Pp. 28-45. ISBN: 050018089X

<sup>180</sup> Dupré, M.G. *Small Renaissance Bronzes*. Littlehampton Book Services Ltd. 1971. Hace un repaso en sus 160 Pp.

<sup>181</sup> Cellini, B. *The Treatise of Benvenuto Cellini on Goldsmithing and Sculpture*. Dover. New York, 1967. Pp. 149-170. ISBN: 0486215687 9780486215686.

Durante el siglo XVIII en Europa en general y en Italia, Francia y Alemania en particular, se continuó cuidando la pátina aplicada a las esculturas de pequeño formato, a monedas, medallas y objetos domésticos.

El siglo XIX se caracterizó por una admiración especial hacia los bronce clásicos, floreciendo muchas fundiciones de arte, particularmente en Francia e Italia. En Francia, aparecieron fundiciones artísticas que alcanzaron un gran reconocimiento internacional, entre las que destacan Bardienne, Keller, Susse Frère, Colin, Louchet y Thiebaut Frères. Algunas de ellas fueron destacadas por la calidad de las pátinas que obtenían<sup>182</sup>. En España la fundición artística distinta a la forja, pertenece ya al siglo XX, siendo las fundiciones de Hermanos Codina y de Eduardo Capa las más relevantes.

Inglaterra aprendió las patinas en el siglo XIX procedentes del continente con motivo de la Feria Internacional de Londres de 1862, en la que se expusieron pátinas realizadas por franceses y alemanes que llamaron la atención de los artesanos del metal ingleses. Ello condujo a la contratación de artesanos de estos países por parte de George Richards Elkington<sup>183</sup> propietario de una empresa familiar establecida en Birmingham que potenció sus negocios con la industria del bronce, cobre y plata coloreada, para la que patentó un sistema de dar colores a la plata por electrólisis (electroplating).

Fue el artesano, impresor, poeta, escritor, pintor y diseñador británico William Morris quien fundó el movimiento Artes y Oficios (Arts and Crafts) y captó las posibilidades que ofrecía la tecnología de dar color a los metales (Figura 28<sup>184</sup>), que condujo al artesano Frank Salthouse, a desarrollar procesos para este fin y que aplicaba las

pátinas en cuarto cerrado, sin que admitiera ser visitado para preservar el secreto de sus pátina negras, verdes y azules. Desde entonces al arte/oficio de dar pátinas mantiene un cierto halo de secretismo que cada uno trata de preservar, con seguridad heredado de la Alquimia.



**Figura 28. Trabajo en bronce de Frank Salthouse**

<sup>182</sup> Lacombe, M.S. *Nouveau Manuel Complet de Bronzage des Métaux et du Plâtre*. Encyclopedie Roret. Paris, 1910. Más de 100 páginas.

<sup>183</sup> [Consulta: 12-10-2018]. Disponible en: [www.wikipedia.org/wiki/George\\_Richards\\_Elkington](http://www.wikipedia.org/wiki/George_Richards_Elkington).

<sup>184</sup> [Consulta 7-05-2019]. Disponible en: <http://www.aejonesboxes.co.uk/page50.htm>

## 1.7. Estructura de la materia

El conocimiento de la estructura de la materia ha ido investigándose a partir de la observación de los fenómenos naturales e inducidos a través de la experimentación. Así se han ido proponiendo modelos que a lo largo del tiempo han quedado obsoletos o presentan anomalías al no poder predecir o justificar el porqué del comportamiento de la materia.

En este apartado se parte de una descripción de hechos naturales y se formulan algunos de los principales modelos atómicos que facilitan la inmersión en el conocimiento progresivo de la materia con el único objetivo de poder entender el sustrato científico que respalda la teoría de las reacciones químicas para producir pátinas en los metales.

Existen multitud de libros, artículos científicos y contribuciones de todo tipo que tratan los temas que se abordan en este apartado. De todos ellos, por razón de simplicidad y de conocimiento personal, se ha optado por seguir un esquema general similar al utilizado en la Academia<sup>185</sup> en la que inicié mi formación técnica, de la que muchos guardamos un grato recuerdo y reconocimiento. También algunos libros clásicos, como es el afamado Babor, que al menos a estudiantes de varias generaciones nos permitió iniciarnos en la Ciencia Química. Pero no se ha dejado de buscar, leer, y contrastar conceptos con obras más recientes, entre las que hay que destacar la *Química General. Principios y Aplicaciones Modernas* de Petrucci (Edición 2017), que en la actualidad está jugando el papel que en su día tuvo el Babor entre los estudiantes de Ciencias en distintas Universidades. En la bibliografía se recogen diversos tratados de Química que básicamente utilizan similares esquemas, porque todos ellos responden a la evolución histórica que ha seguido el desarrollo de esta ciencia.

### 1.7.1. Comportamiento de la materia

Hay tres conceptos básicos que deben tenerse presentes: el comportamiento de los gases, la masa y carga de los electrones y las características de las radiaciones emitidas por determinados productos, que se pasa a exponer.

#### 1.7.1.1. Descargas eléctricas en gases

Los gases, dependiendo de la presión a la que se encuentren, conducen la electricidad en distinto grado.

El inglés William Crookes<sup>186</sup> (1832-1919) estudió en 1879 el comportamiento de distintos materiales al utilizarlos como electrodos en un tubo de vidrio que permitía hacer el vacío en su interior. Al conectar los electrodos a una fuente

---

<sup>185</sup> Academia Dobao, D.G., en Madrid, desaparecida a mediados de los 80's.

<sup>186</sup> Crookes, W. *On Radiant Matter*. The Popular Science Monthly, Volume 16. D. Appleton, 1880. Pp.157

de alimentación, Figura 29, uno de los electrodos actuaba como cátodo y el otro como ánodo.

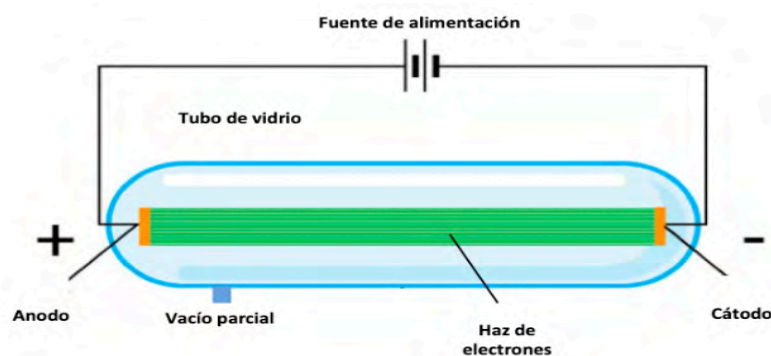


Figura 29. Esquema del tubo de Crookes

A medida que hacía el vacío, pudo observar distintos fenómenos: A la presión atmosférica el gas existente en el tubo actúa como aislante, lo que exige tensiones disruptivas elevadas del orden de varios miles de voltios/cm. Cuando se empieza a reducir la presión se van produciendo fenómenos luminosos distintos a partir de 1/10 atmósferas, que se convierte en una luz intensa pocos milímetros de presión, hasta volverse a producir oscuridad a presiones próximas a 1/1000 mm. de columna de mercurio. Se observa en ese momento que una fluorescencia verdosa en toda la superficie del tubo debido a una radiación que nace del cátodo, siendo el primero que identificó el plasma. Y supuso que se trataba de partículas de tamaño molecular con carga. Sin embargo, fue Joseph J. Thomson (1856-1940), quien recibió el Premio Nobel de Física en 1906

*“en reconocimiento a los grandes méritos de sus investigaciones teóricas y experimentales sobre la conductividad de la electricidad en los gases”*<sup>187</sup>

quien en 1897 descubrió que esta radiación catódica es de naturaleza subatómica y que es desviada de su trayectoria recta cuando se utiliza en campo eléctrico, o magnético, llegando a la conclusión de que se trata de un haz con carga negativa<sup>188</sup>. Figura 30.

<sup>187</sup> [Consulta:30-11-2018]. Disponible en: <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1906/summary/>

<sup>188</sup> Burns, R.A. *Fundamentos de Química*. 5ªEd. Prentice Hall: Mexico,2003. Pp.115. ISBN: 978-607-32-0683-9.

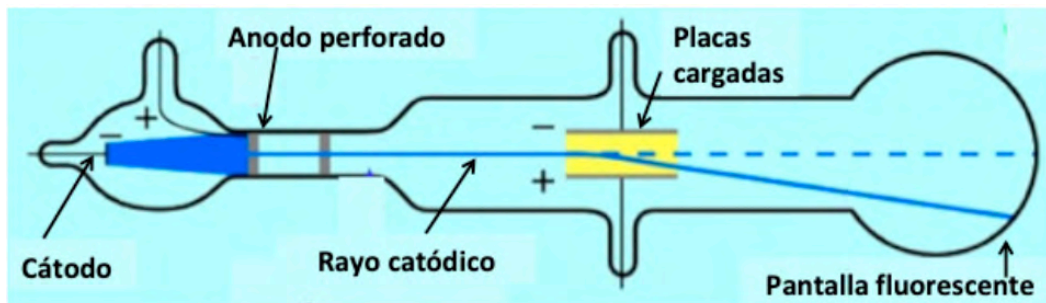


Figura 30. Esquema del experimento de Thomson

Por medidas de los desvíos que sufre la radiación catódica en campos eléctricos y magnéticos se ha podido determinar que se trata de una emisión de electrones que salen del cátodo y son atraídos por el ánodo. Por este método se han podido calcular las relaciones carga/masa de las partículas elementales entonces conocidas, que para el electrón es:

$$e/m = 1,7592 \times 10^8 \text{ cul/gr.}$$

### 1.7.1.2. Carga y masa de electrón y de otras partículas elementales<sup>189</sup>

Denominado ‘**método de la gota pendiente**’, se trata de una cámara provista de un par de placas entre las que puede establecerse una diferencia de potencial (d.d.p.) entre los polos de un condensador, Figura 31, en la que se introduce una fina niebla de gotículas de aceite y se las ioniza por la acción de

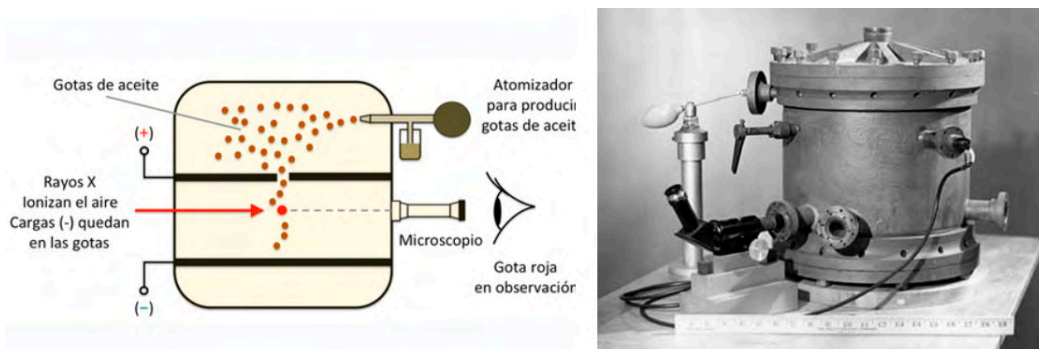


Figura 31. Esquema y Cámara del experimento de Millikan

un haz de Rayos X. Estas gotas adquieren una carga eléctrica variable que será siempre un múltiplo entero de la carga del electrón (carga elemental) ( $e$ ,  $2e$ ,  $3e$ ,  $4e$  ...).

Las gotas se observan con un microscopio y se ve cómo caen por gravedad. Aplicando una d.d.p. suficiente entre las placas ( $V$ ) se consigue mantener la

<sup>189</sup> Rober A. Milikan (1868-1953), Premio Nobel de Física en 1923 por la medición de la carga y masa del electrón y por el efecto fotoeléctrico.

gota en equilibrio. Conocido los voltios aplicados al condensador, el radio de la gota y su densidad, se puede calcular el valor de su carga. Determinando la carga de numerosas gotas, el valor promedio de todas ellas será la carga elemental. Se encontró así que:

$$e = 4,802 \times 10^{71} \text{ ues [unidad electrostática]}$$

o bien

$$e = 1,6 \times 10^{-10} \text{ culombios}$$

y como se conoce la relación  $e/m$ , se deduce que la masa del electrón es:

$$m = 9,108 \times 10^{-28} \text{ grs.}$$

Con esta misma metodología se ha podido determinar la carga y la masa de las demás partículas fundamentales que intervienen en la estructura de los átomos:

- **Protón.** Carga eléctrica idéntica al del electrón, pero de signo positivo, con una masa  $1.845^{190}$  veces superior a la del electrón. Coincide con el núcleo del átomo de hidrógeno.
- **Neutrón.** Se trata de una partícula sin carga eléctrica, con una masa prácticamente igual a la del electrón. Esta partícula fue descubierta en 1932 por Chadwick.
- **Positrón.** Partícula de idéntica carga y masa que el electrón, descubierta también en 1932 por Anderson en los rayos cósmicos.

### 1.7.1.3. Fenómenos radiactivos

En 1896 el francés Henri Becquerel, Premio Nobel de Física en 1903

*“En reconocimiento a los servicios extraordinarios que ha prestado por su descubrimiento de la radiactividad espontánea”<sup>191</sup>*

Fue descubierta en el uranio que emite radiaciones corpusculares espontáneas, al igual que todas las sustancias denominadas desde entonces sustancias radiactivas. Estas radiaciones corpusculares están formadas por tres tipos diferenciados:

- **Radiación alfa:** tienen carga positiva y están compuestas por dos protones y dos neutrones del núcleo del átomo. Coinciden núcleos de helio.
- **Radiación beta:** Formada por electrones.
- **Radiación gamma:** Es una radiación electromagnética de mayor frecuencia que los rayos X y, en consecuencia, de mayor energía

---

<sup>190</sup> Millikan, R.A. *The electron and the light-quant from the experimental point of view*. Nobel Lecture: May 1924.

<sup>191</sup> [Consulta:6-12-2018]. Disponible en: <https://www.nobelprize.org/search/?s=Becquerel>

### 1.7.2. Teorías sobre la estructura de la materia

A la luz de los descubrimientos anteriores, es evidente que la materia contiene en su interior cargas eléctricas de distintos signos, si bien en su estado normal es eléctricamente neutra. Esto quiere decir que las cargas negativas y positivas están equilibradas, es decir que hay igual número de electrones y que de protones. El holandés Antonius Van der Broek (1870-1926) supuso en 1911, y confirmó después experimentalmente Rutherford, que el número de cargas positivas de un átomo (número de protones) coincide con el número de orden que el elemento tiene en el sistema periódico - y que puede determinarse con la Ley de Moseley, que posteriormente se tratará.

Las radiaciones que emite el átomo cuando se lo excita aportándole previamente energía, constituye lo que se reconoce como espectro. Dicho espectro ha sido fundamental para encontrar la justificación de como está organizado el átomo y la disposición de sus cargas eléctricas, negativas del electrón y positiva de los protones, para ser neutro en estado no excitado. Todo ello ha dado lugar a la formulación de modelos atómicos a lo largo del tiempo. Un modelo atómico se ha considerado tanto más perfecto cuanto mejor pudiera explicar las características de la emisión espectral de un elemento en estado excitado. El modo de excitar a un elemento es mediante la aportación de energía por distintos procedimientos: calentamiento en la llama, arco eléctrico, chispa, descarga de alta frecuencia, etc.

Un modelo atómico ha de ser consistente para explicar:

- Que la materia, los átomos que la componen, no emiten radiaciones en su estado fundamental, sino tan sólo cuando se la excita.
- Ha de poder predecir el valor numérico de la frecuencia de las radiaciones emitidas.

#### 1.7.2.1 Modelo de Rutherford

El neozelandés/inglés Ernest Rutherford (1871-1937) recibió el Premio Nobel de Química en 1908 por descubrir que la radioactividad va acompañada de la desintegración de los elementos mediante la siguiente experiencia: Puso una fuente F de partículas materiales alfa delante de una lámina metálica, según se recoge en la Figura 32 (a).

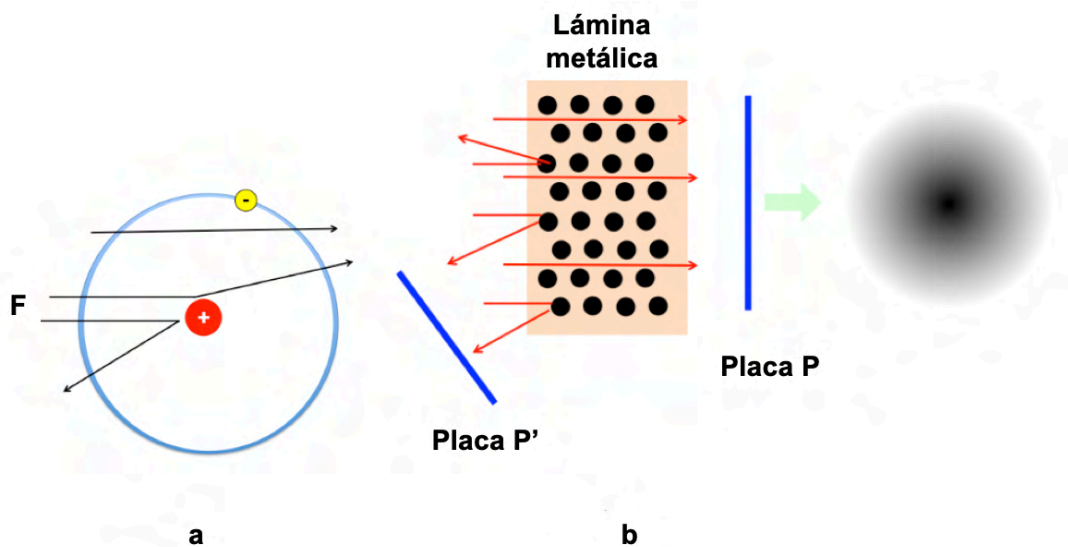


Figura 32. Esquema del experimento de Rutherford

Si los átomos fueran macizos como supone Thomson, las partículas alfa tendrían que rebotar al chocar contra ellos e impresionarían la placa fotográfica P'. Pocas partículas alfa conseguirían atravesar la lámina metálica, las que tengan la probabilidad de pasar entre los huecos o vacíos que dejen los átomos por imperfecciones en la estructura interna del metal. El resultado que cabría esperar a priori de esta experiencia es que la placa fotográfica P' sufrirá un fuerte ennegrecimiento, mientras que en la placa fotográfica P solo debiera observarse una tenue impresión. Figura 32 (b).

La realidad que resultó fue absolutamente distinta: La placa P' casi no estaba ennegrecida, mientras que la placa P resultó con tener una fuerte impresión central seguida de un halo difuso, cuya intensidad iba disminuyendo hacia los bordes.

La justificación de este comportamiento es la siguiente:

- a) La mayoría de las partículas alfa han podido atravesar la materia sin sufrir desviaciones para producir el impacto central intenso.
- b) Solamente algunas partículas han sufrido desviación, originando el halo difuso que rodea el centro y que se desvanece hacia los bordes.
- c) Los grandes desvíos son cada vez menos probables, de otro modo no se explicaría el debilitamiento de intensidad que experimenta dicho halo al alejarse del centro.
- d) Algunas partículas alfa (muy pocas) son reflejadas por la lámina metálica M y producen una débil impresión fotográfica en la placa P'.

De esta experiencia se deduce que en la materia han de existir grandes espacios vacíos, como ya intuyeran Leucipo y Demócrito, sobre el año 400 a.C. De no ser así no podrían atravesar con tanta facilidad las partículas alfa.

Para dar respuesta a estos hechos Rutherford planteó un nuevo modelo atómico. En la materia debe haber grandes espacios vacíos y, por analogía con el sistema planetario (donde también hay grandes espacios vacíos) diseña una estructura del átomo que es un sistema solar en miniatura. Supone que el átomo está formado por un núcleo asiento de toda la masa del mismo y de la carga positiva, en torno al cual, a grandes distancias [siempre a escala atómica] giran los electrones [como lo hacen los planetas en torno al sol] equilibrando con la fuerza centrífuga que desarrollan en su giro la atracción coulombiana que les ofrece el núcleo.

Rutherford explica perfectamente con este modelo el resultado de su experiencia:

- i. Casi todas las partículas pueden atravesar la materia a través de sus grandes espacios vacíos
- ii. Las partículas alfa (que son positivas) al pasar cerca de los núcleos son repelidas y desviadas, siendo responsables de la aparición del halo difuso. Cuanto más próxima al núcleo pase una partícula tanto mayor será su desvío.

Operando con láminas de diversas sustancias, a su vez ese desvío será tanto mayor cuanto más elevada sea la carga nuclear de sus átomos.

Por medición de la amplitud del halo difuso se puede determinar experimentalmente el valor de la carga nuclear; lo que permitió confirmar la hipótesis del físico holandés Van der Brock (1870-1926) de que el número de cargas positivas de los núcleos (número de protones) coincide con el número de orden que ocupa el elemento en el sistema periódico.

- iii. Dado que el tamaño de los núcleos es muy pequeño, serán muy pocas las partículas alfa que chocan con los núcleos para ser repelidas y retroceder para impresionar las placas P'.

Un experimento adicional permitió a Rutherford convertirse posiblemente en el primer "Alquimista" que consiguió la búsqueda transmutación por bombardeo del átomo de Nitrógeno [número atómico 17] con partículas alfa, consiguiendo arrancar un protón de su núcleo, produciendo de este modo Oxígeno [número atómico 16].

### **Defectos del modelo atómico de Rutherford.**

Pese a los avances introducidos por Rutherford su modelo atómico es inestable. El electrón al girar crea un campo cuya intensidad varía periódicamente con una frecuencia igual a la de su giro. Es decir, que debe emitir una radiación electromagnética de igual frecuencia que la propia de su giro. Este hecho no se respalda con la realidad porque es evidente que la materia en su estado fundamental, es decir, sin ser sometida a excitación, no emite radiaciones de modo continuo. Además, si el electrón emitiera energía en

forma de radiación electromagnética, sería a costa de su propia energía, por lo que se iría acercando progresivamente al núcleo y terminaría depositándose sobre él. Para superar estos inconvenientes, Bohr formuló un nuevo modelo atómico, que veremos más adelante.

### Número atómico

Cuando la radiación catódica procedente de un tubo Crookes incide sobre el anticátodo excita en él la producción de una radiación de corta longitud de onda de mayor energía que el ultravioleta, que se denomina radiación Röntgen o Rayos X. Figura 33. Estas radiaciones son capaces de atravesar espesores de ciertas sustancias, de impresionar placas fotográficas y de detectarse por la fluorescencia que producen al incidir sobre ciertas sustancias, como el fósforo.

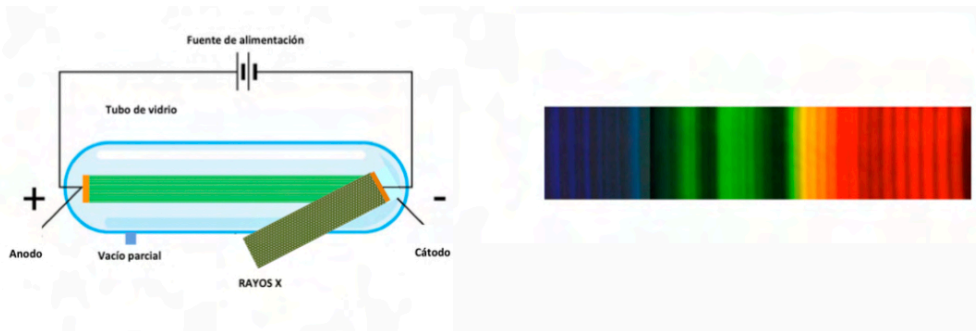


Figura 33. Esquema del tubo Crookes

Analizado el espectro de la radiación X emitida por el tubo Crookes se comprueba que está constituida por un fondo espectral continuo (radiación de frenamiento) y por una serie de rayas cuyas frecuencias son características del elemento que conforma el anticátodo. La radiación de frenamiento se debe al frenado que experimentan los electrones al chocar con el anticátodo. Si la d.d.p. aplicada al tubo es  $V$ , los electrones al llegar al anticátodo tienen una energía cinética dada por la ecuación:

$$V \cdot e = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

energía cinética que pierde al chocar, disipándose parte de la misma en forma de calor y otra parte como radiación X, según:

$$V \cdot e = Q + h \cdot \nu$$

Aquel electrón que no transforma su energía en Rayos X transformará íntegramente su energía cinética en calor, de acuerdo con:

$$V \cdot e = Q$$

El electrón que no transforme su energía en calor sino en radiación X, cumplirá:

$$V \cdot e = h \cdot \nu_m$$

evidentemente  $\nu_m$  corresponde a la frecuencia máxima que puede emitir el tubo Crooks. Entre 0 y  $\nu_m$  la frecuencia  $\nu$  de la radiación emitida puede tomar cualquier valor, dependiendo de la mayor o menor fracción de su energía cinética que se transforme en calor. Por tanto, la "radiación de enfrenamiento" está constituida por un fondo espectral continuo que acaba en una frecuencia máxima. Evidentemente al elevar la tensión  $V$  aplicada al tubo, el borde de la radiación de enfrenamiento  $\nu_m$  se desplaza hacia valores más altos de la frecuencia.

Superpuesto al fondo espectral continuo aparece una radiación formada por frecuencias finitas características del elemento que constituye el anticátodo.

La radiación característica es debida a saltos electrónicos en los átomos del metal que constituye el anticátodo. Aparece formada por rayas que se agrupan en haces o paquetes, como muestra la Figura 34, que se denominan con las letras K, L, M, .... Dentro de cada paquete cada línea se designa por una letra griega por subíndice  $K_\alpha$ ,  $K_\beta$ ,  $K_\gamma$  ..... Si la raya es doble, constituida por dos líneas muy próximas, se designan cada una de ellas mediante un nuevo subíndice numérico:  $K_{\alpha 1}$ ,  $K_{\alpha 2}$ , ...

El inglés Henry Moseley (1887-1915) estudió los espectros de rayos X constituidos por anticátodos de metales que se encuentran consecutivos en el sistema periódico y observó que la frecuencia de cada raya espectral se desplaza progresivamente al crecer el número de orden  $Z$  que el elemento ocupa en la clasificación periódica. La ley encontrada por Moseley puede enunciarse y escribirse matemáticamente así:

*"La raíz cuadrada de la frecuencia de una raya del espectro de rayos X de un elemento es función lineal del número de orden que dicho elemento ocupa en la Clasificación periódica"* <sup>192</sup>

$$\sqrt{\nu} = A (Z - B)$$

Formula en la que  $\nu$  es la frecuencia de una radiación,  $A$  y  $B$  son constantes que dependen de la línea elegida y  $Z$  es el número de orden del elemento que constituye el anticátodo. El número  $Z$ , número de orden que ocupa un elemento en la clasificación periódica, se denomina Número atómico.

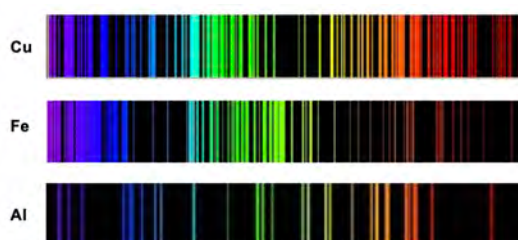


Figura 34. Bandas de líneas espectrales

<sup>192</sup> [Consulta:15-12-2018]. Disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Henry\\_Moseley](https://es.wikipedia.org/wiki/Henry_Moseley)

## Isótopos

Ya se ha citado que los núcleos de los átomos están constituidos principalmente por protones y neutrones. El número total de partículas nucleares (protones más neutrones) se denomina número másico (M). El número de protones de un núcleo coincide con su número atómico (Z), esto es con el número de orden que posee el elemento en el sistema periódico. El número de neutrones será la diferencia entre M y Z.

Para presentar la composición de un núcleo se escribe el símbolo del elemento y dos índices, el inferior Z, y el superior M:

$$\begin{array}{l} M \quad \text{n}^\circ \text{ de protones} = Z \\ X \\ Z \quad \text{n}^\circ \text{ de neutrones} = M - Z \end{array}$$

Ejemplo:

$$\left\{ \begin{array}{l} 16 \quad p=8 \\ 0 \\ 8 \quad n=8 \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} 238 \quad p=92 \\ U \\ 92 \quad n=146 \end{array} \right.$$

Según esto, el peso atómico de un elemento, dado que las masas del protón y del neutrón son sensiblemente iguales, deberían ser números enteros. Sin embargo, numerosos elementos químicos presentan pesos atómicos fraccionarios. Por ejemplo, el cloro tiene  $P_a = 35,5$  lo cual supondría admitir que existen fracciones de partículas elementales. Eso no es posible ya que las partículas elementales son indivisibles. Se trata en realidad de que en una masa de cloro todos los átomos no tienen el mismo peso atómico. El cloro presenta dos variedades de átomos: El 25% de los átomos tienen de número másico 37 y el 75% presentan índice másico 35:

$$\left\{ \begin{array}{l} 35 \quad p=17 \\ Cl \\ 17 \quad n=18 \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} 37 \quad p=17 \\ Cl \\ 17 \quad n=20 \end{array} \right.$$

estas dos variedades, que tienen el mismo número de protones y difieren en el número de neutrones se denominan isótopos, que son

*“variedades nucleares de un mismo elemento que teniendo el mismo número de protones (igual número atómico) difieren en el número de neutrones (esto es en el número atómico)”<sup>193</sup>*

<sup>193</sup> Ramírez, V.M. *Química General*. Primera Edición e-book. Grupo Ed. Patria, S.A. Méjico. 2014.Pp.87. ISBN ebook: 978 607 744 008 6

El peso atómico químico del cloro será el peso atómico medio de los isótopos que lo constituyen. El peso atómico químico se obtiene hallando la media ponderada entre ellos:

$$P_a = 0,25 \times 37,4 + 0,75 \times 35 = 35,5$$

Casi todos los elementos químicos están constituidos por mezclas de isótopos, de ahí que en las tablas de pesos atómicos químicos figuren con valores fraccionarios. Los diversos isótopos de un elemento poseen en su núcleo el mismo número de protones y por tanto poseen el mismo número de electrones corticales dispuestos con análoga estructura.

Puesto que las propiedades químicas de un elemento sólo dependen de la configuración electrónica externa, es fácil entender que los isótopos de un elemento tengan el mismo comportamiento químico y no haya podido ser evidenciada la existencia de isótopos por métodos químicos. Ha sido necesario recurrir a métodos físicos sensibles que pongan de manifiesto la pequeña diferencia de masa entre sus núcleos. No obstante, por métodos extremadamente sensibles, se ha podido hoy día apreciar ligeras diferencias en el comportamiento químico de los diversos isótopos de un mismo elemento (velocidad de reacción, energías de activación, espectro, etc.). Para investigar el número de isótopos de un elemento se utiliza un aparato denominado espectrógrafo de masas.

Al hacer pasar un haz de partículas cargadas por un campo eléctrico y otro magnético paralelo, producen en una pantalla tantas ramas de parábola como valores diferentes de la relación  $e/m$  se encuentran entre las partículas empleadas.

La intensidad con que se produce en la pantalla cada rama de parábola indica la mayor o menor abundancia del isótopo en la mezcla. Por tanto, por comparación fotométrica de las diversas intensidades de todas las ramas de parábola se puede deducir la proporción en que están mezclados los diversos isótopos de un elemento.

Como fuente de iones para alimentar el espectrógrafo de masas se puede emplear un haz de rayos canales, que a continuación se expone de modo simplificado. Figura 35.

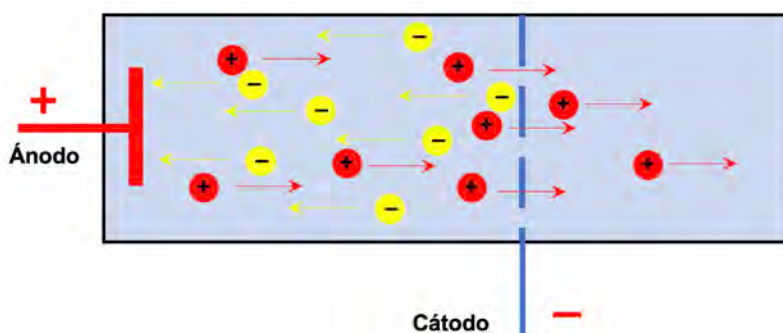


Figura 35. Esquema del tubo de rayos canales

En un tubo de rayos catódicos los electrones que salen del cátodo chocan contra los átomos del gas residual que contiene el tubo, ya que el vacío no es perfecto. En estas colisiones los átomos del gas residual pierden electrones para transformarse en iones positivos que emprenden un movimiento acelerado hacia el cátodo, atraídos por su carga negativa. Pero cuando el cátodo se ha diseñado con huecos perforados, aquellos iones positivos acelerados que no se encuentran con dicho cátodo por llegar a uno de los huecos perforados, sigue su camino constituyendo un haz de radiación positiva, llamada **radiación canal**.

Dado que los iones positivos se generan en puntos muy distintos del tubo, sufren distintas aceleraciones antes de llegar al cátodo, siendo más veloces los producidos más lejos del cátodo. En consecuencia, las partículas positivas de los rayos canales no todos tienen la misma velocidad, por lo que dibujarán ramas de parábola distintas en el espectrógrafo de masas.

### Espectros atómicos

Se denomina espectro al conjunto de radiaciones que emite un elemento al ser excitado.

Si iluminamos, como se refleja en la Figura 36, una rendija R con una radiación monocromática de longitud de onda  $\lambda_1$ , y el rango de rayos que salen de la misma es desviado por un prisma, este separa las distintas longitudes de onda

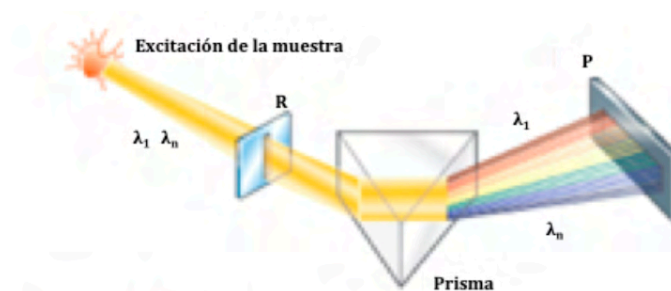


Figura 36. Resultado de la espectroscopía

para producir en la pantalla P una línea por cada radiación de longitud de onda  $\lambda_i$ , generando un espectro como el recogido en la Figura 37. El aparato es un espectroscopio o espectrógrafo.

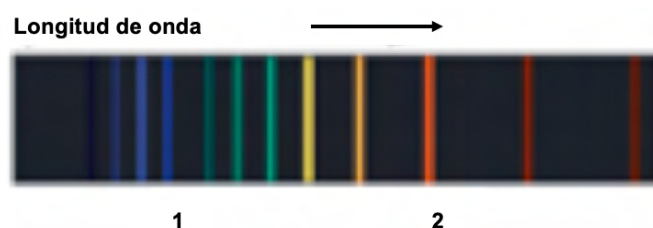


Figura 37. Principio de la espectroscopía

Al poner incandescente un elemento químico, por ejemplo, llevado a la llama del mechero Bunsen en el extremo de un hilo de platino, el elemento emite radiaciones que examinadas en un espectrógrafo permiten conocer las líneas cromáticas que se producen. Y dado que cada elemento químico tiene un espectro característico y exclusivo, se convierte en un sistema de análisis muy preciso que requiere muy pequeñas cantidades para ser empleado. Se trata del análisis espectral.

### Espectro del hidrógeno

Balmer (1825-1898)<sup>194</sup>, físico y matemático suizo, estableció una fórmula empírica que permite calcular las longitudes de onda correspondientes a las líneas espectrales del hidrógeno en la zona visible. Figura 38.



Figura 38. Espectro del hidrógeno

Conocidas las frecuencias de las líneas espectrales, Balmer encontró que obedecían a la siguiente fórmula matemática:

$$\lambda = \frac{h m^2}{m^2 - n^2}$$

en la que  $n = 2$ ,  $h = 3645$  ängström, y  $m$  es un número entero mayor o igual a 3. Balmer denominó a la constante  $h$ , hoy conocida como constante de Balmer, “número fundamental del hidrógeno”.

La fórmula de Balmer anterior se comprobó que funcionaba bien, aunque se ignorasen las razones que subyacían en ella para reproducir el comportamiento del hidrógeno. En 1888 el físico sueco Rydberg (1854-1919) reformuló la ecuación de Balmer del siguiente modo:

$$\nu = R_y \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)$$

en la que  $R_y$  es una constante denominada de Rydberg, que para el hidrógeno tiene el valor  $109679 \text{ cm}^{-1}$ . Operando con esta última formulación, y dejando fijo el valor  $n = 2$ , se obtiene:

para  $m = 3$  se obtiene  $\nu = \nu_1$

para  $m = 4$  se obtiene  $\nu = \nu_2$

.....

para  $m = \infty$  se obtiene  $\nu = \nu_{\infty} = R_y / 4$

<sup>194</sup> Balmer, J.J. *Notiz über die Spektralliniendes Wasserstoffs*, Annalen der Physik 25, 1885. Pp. 80-87.

Posteriormente el estadounidense Theodore Lyman (1874-1954) encontró que todas las radiaciones que emitía el hidrógeno en la región ultravioleta podían predecirse de la fórmula de Balmer haciendo en ella  $n = 1$  y  $m = 1, 2, 3...$  Igualmente, el físico alemán Friedrich Paschen (1865-1947) demostró que dejando fijo en la fórmula de Rydberg  $n = 3$  y dando a  $m$  los valores  $m = 4, 5, 6...$  se obtienen los valores de las frecuencias de las radiaciones que emite el hidrógeno en la zona del infrarrojo próximo. Frederick S. Brackett<sup>195</sup> (1896-1988), por su parte, halló de igual modo otra serie de radiaciones en el infrarrojo medio que obedecían a  $n = 4$  y  $m = 5, 6, ...$  Por último, el estadounidense August H. Pfund (1879-1949), en 1924 obtuvo en el infrarrojo lejano otra serie que responde a  $n = 5$  y  $m = 6, 7, 8, ...$  Ninguna teoría física había sido hasta entonces capaz de explicar dichas regularidades. La Figura 39 recoge de modo esquemático los saltos energéticos de las distintas series espectrales del hidrógeno.

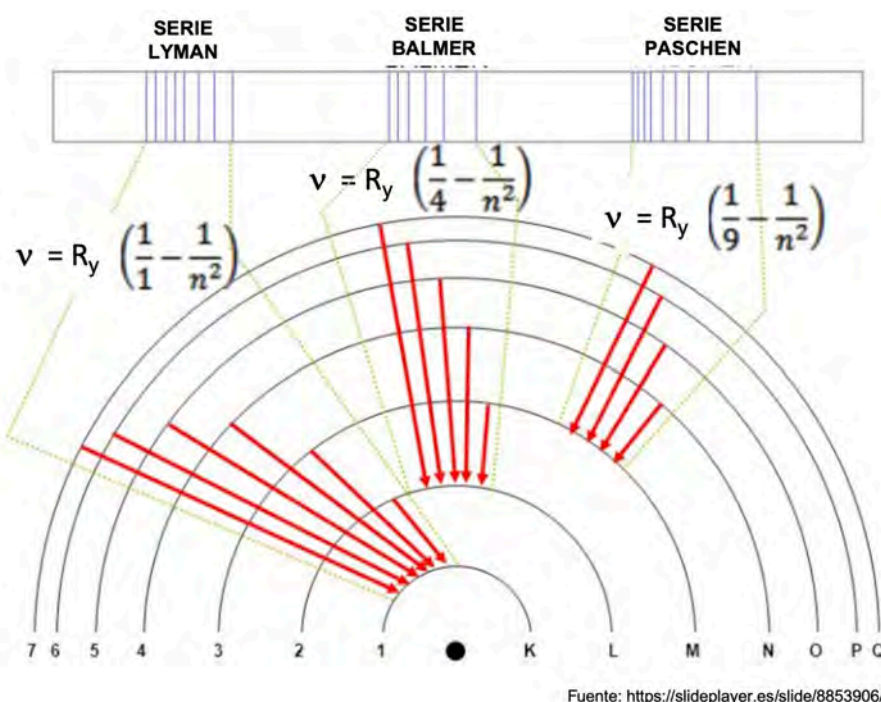


Figura 39. Serie espectral del Hidrógeno

<sup>195</sup> Brackett, F.S. *Visible and Infrared Radiation of Hydrogen*. *Astrophysical Journal*, Vol. 56, nº 3, Sep. 1922. Pp. 154-161. B. Code: 1922.

### 1.7.3. La Tabla Periódica de los Elementos

Muchos han sido los intentos realizados para clasificar de un modo racional y sistemático los elementos químicos conocidos. En 1813 el sueco Jöns Berzelius (1779-1848), al margen de sus descubrimientos de diversos elementos químicos [Se, Ce,Th]<sup>196</sup>, hizo un intento de clasificación de los elementos químicos entonces conocidos en dos grandes grupos, metales y metaloides. Esta clasificación se basó en las diferentes propiedades que caracterizan a los elementos de cada grupo. Los metales son densos, tienen brillo metálico característico, conducen bien el calor y la electricidad, etc., Y los metaloides suelen tener baja densidad, carecen de brillo y no conducen bien ni el calor ni la electricidad. Más tarde Jean Dumas (1800-1884), clasificó los metaloides en cuatro grupos (halógenos, anfígenos, nitrogenoides y carbonoides) y Louis J. Thenard (1777-1857) realizó un intento de clasificación de los metales según el modo en el que descomponían al agua. Entre 1817 y 1829 el alemán Johann Döbereiner<sup>197</sup> (1780-1849) encontró grupos de tres elementos químicos a los que denominó Tríadas (Li, Na, K) (S; Se, Te) (Ca, Sr, Ba) (Cl, Br, I)...,(Figura 40), en los que las diferencias entre los pesos atómicos de dos elementos consecutivos era prácticamente constante, o sea, que el peso atómico del elemento central de la tríada era aproximadamente la media aritmética de los pesos atómicos de los elementos extremos. Frente a estas tríadas de gran diferencia de peso atómico en sus elementos existen otras de pequeña diferencia (Fe, Co, Ni; Ru, Rh, Pd; Os, Ir, Pt).

Litio	6,94	Calcio	40,08	Azufre	32,06	Cloro	35,45
Sodio	22,99	Estroncio	87,62	Selenio	78,96	Bromo	79,9
Potasio	39,09	Bario	137,33	Telurio	127,6	Yodo	126,9

Figura 40. Ley de las tríadas de Döbereiner

<sup>196</sup> Berzelius, J.J. *Jöns Jacob Berzelius A Guide to the Perplexed Chemist*. Ed. Springer Link: The Chemical Educator,5, 2000. Pp.343-350.

<sup>197</sup> Döbereiner, J. W. (1829). *An Attempt to Group Elementary Substances according to Their Analogies*. *Annalen der Physik und Chemie* 20. 1829. Pp 301 - 307.

El paso más importante fue dado entre 1864 y 1867 por el inglés John Newlands (1837-1898) al observar una regularidad, publicada en varios artículos científicos<sup>198</sup>, que se conoce con el nombre de Ley de Newlands o ley de las octavas: Al colocar los elementos químicos por orden creciente de peso atómico, cada ocho elementos se encuentra un homólogo del primero. De esta regla se exceptúa el primer elemento (el Hidrógeno) y no se cumple a partir del calcio, y por eso la comunidad científica de la época no aceptó su trabajo. Figura 41. El nombre de octavas se basa en la intención de Newlands de relacionar estas propiedades con la que existe en la escala de las notas musicales, por lo que dio a su descubrimiento el nombre de ley de las octavas<sup>199</sup>. Si se hubieran conocido los gases nobles [descubiertos a finales del

No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.
H 1	F 8	Cl 15	Co & Ni 22	Br 29	Pd 36	I 42	Pt & Ir 50
Li 2	Na 9	K 16	Cu 23	Rb 30	Ag 37	Cs 44	Os 51
G 3	Mg 10	Ca 17	Zn 24	Sr 31	Cd 38	Ba & V 45	Hg 52
Bo 4	Al 11	Cr 19	Y 25	Ce & La 33	U 40	Ta 46	Tl 53
C 5	Si 12	Ti 18	In 26	Zr 32	Sn 39	W 47	Pb 54
N 6	P 13	Mn 20	As 27	Di & Mo 34	Sb 41	Nb 48	Bi 55
O 7	S 14	Fe 21	Se 28	Ro & Ru 35	Te 43	Au 49	Th 56

Figura 41. Ley de las Octavas de Newlands

XVIII] seguramente hubiera formulado su ley como de las novenas.

De Chancourtois (1820-1886), en 1862 había dado forma geométrica a esta ley en su hélice telúrica. Colocando los elementos químicos por orden creciente de peso atómico sobre una hélice, con 16 elementos por vuelta, en una misma generatriz aparecen elementos homólogos. Así apuntó que muchos de los elementos con propiedades similares se ubicaban en la misma generatriz del cilindro que soporta la hélice.

Al mismo tiempo el alemán Julius Lothar Meyer (1830-1895) realizó numerosas determinaciones experimentales, basadas en las propiedades físicas, que demostraban cómo muchas propiedades de los elementos (volumen atómico, etc.) eran función periódica del peso atómico, sin que lograra encontrar la ley matemática a esta periodicidad. Fue Dmitri Ivanovich Mendelejev (1834-1907)

<sup>198</sup> Newlands, J. A. R. *On Relations among the Equivalentes*. Chemical News n° 7, Feb. 7, 1863. Pp. 70-72; *Relations between Equivalentes*. n° 10, July 30, 1864. Pp. 59-60; *On Relations Among the Equivalentes*. n° 10, Aug. 20, 1864. Pp. 94-95; *On the Law of Octave*. n° 12, Aug. 18, 1865. Pp. 83. *Proceedings of Societies [Report on the Law of Octaves]*. N° 13, March 9, 1866. Pp. 113.

<sup>199</sup> Duban A. *Historia de la Química*. [Consulta 13-11-2018]. Disponible en: <http://mifuturo-duvan.blogspot.com/2011/10/biologia.html>.

quien tuvo el acierto de encontrar en 1869 [el año 2019 la UNESCO celebra el 150 aniversario de la Tabla Periódica de Mendelejev], basándose en las propiedades químicas, que la ley de periodicidad no era la rígida ley de octavas, sino una ley variable representada por  $2n^2$  (2, 8, 18, 32 ..... ). El Hidrógeno es monovalente, a los dos elementos aparece el Litio monovalente, a los ocho elementos aparece el Sodio también monovalente, etc., llegando a estructurar de esta forma el sistema periódico de los elementos. El sistema periódico es una ordenación de los elementos químicos por orden creciente de peso atómico y distribuidos en columnas, según la ley de periodicidad  $2n^2$ , de forma que los elementos de una misma columna posean propiedades físico-químicas semejantes.

Quando Mendelejev estableció el Sistema Periódico, faltaban muchos elementos químicos por descubrir. El les asignó el lugar que debían ocupar en el Sistema Periódico y predijo sus propiedades físico-químicas más relevantes:

*“Falta un elemento en este sitio y, cuando sea encontrado, su peso atómico lo colocará antes del titanio. El descubrir la laguna colocará los últimos elementos de la columna en los renglones correctos; el titanio corresponde con el carbono y el silicio”<sup>200</sup>.*

Poco después fueron descubiertos algunos de los elementos previstos por él (por ejemplo, el Galio en 1875, Escandio en 1879 y Germanio en 1886), confirmándose así la hipótesis de Mendelejev. El Sistema de Mendelejev no sólo realizó una clasificación racional de los elementos químicos, sino que puso sobre la pista las investigaciones que debían facilitar el descubrimiento de los elementos químicos aún no conocidos. Hoy día, mediante la ley de Moseley (1887-1915), puede determinarse el número atómico de cada elemento químico y situarlo correctamente en el Sistema Periódico, coincidiendo con la ordenación hecha por Mendelejev. Las columnas verticales constituyen los llamados Grupos, que Mendelejev dividió en dos subgrupos (A y B), colocando en cada uno de ellos elementos más parecidos entre sí. En el Grupo 8 coloca las tríadas de pequeña diferencia. Los elementos de cada fila horizontal constituyen lo que se reconoce como Período, que Mendelejev dimensionó con 8 elementos (Periodos cortos) o con 18 elementos (Periodos largos). Así se inició la disponibilidad de esta herramienta básica de la ciencia, tanto Química como Física, que permite conocer la materia y predecir su comportamiento a nivel universal, estableciendo criterios claros sobre la estructura de la materia y las valencias [número de electrones corticales que intervienen en las reacciones químicas y/o en la formación de moléculas más estables] de los elementos.

---

<sup>200</sup> Godfrey, S.S. *Dreams & Reality*. Trafford Publishing. Chapter 2. 2003. ISBN 1-4120-1143-4

### 1.7.3.1. Anomalías del Sistema Periódico

- a) Dificultades en la colocación del Hidrógeno: Mendelejev lo colocó primero en la columna 7A por ser gaseoso y de molécula diatómica como los halógenos. Descubierta que los halógenos son electronegativos, y el hidrógeno electropositivo, fue necesario situarlo en la columna de los alcalinos (monovalentes electropositivos como él). Hoy día se le suele colocar fuera del Sistema Periódico porque tampoco responde exactamente a las propiedades metálicas de los elementos de esta columna.
- b) Colocación de las tríadas: Si en cada casilla del Sistema Periódico hay un elemento, la presencia de tres elementos en cada casilla del grupo 8 rompe la uniformidad establecida.
- c) Colocación de las Tierras raras: Por el mismo motivo es anómala la colocación de 14 elementos en una sola casilla (La y Ac). Se trata de grupos de 14 elementos tan parecidos entre sí que se comportan "casi" como si se tratase de un mismo elemento químico.
- d) Anomalías de transposición: Hay cuatro lugares en el Sistema Periódico en los que hay que alterar el orden creciente de pesos atómicos en beneficio de que los elementos de una misma columna tengan propiedades homólogas. Se trata de las parejas: Ar-K, Te-I y Pa-Th.

### 1.7.4. Sistema Periódico de Werner

Alfred Werner (1866-1919), químico suizo y Premio Nobel de Química en 1913, para mayor claridad en la exposición del Sistema Periódico, separó las columnas A de las columnas B, dando una forma abierta al Sistema Periódico que se conoce con el nombre de "Sistema Periódico Largo" o "Sistema Periódico Abierto". Bajo esta forma se utiliza en este trabajo<sup>201</sup>. Figura 42.

Los elementos de transición son los elementos 1B y del 3B hasta el 8B, los cuales tienen capas *d* incompletas, por lo que forman con facilidad cationes con subniveles *d* incompletos, resultando por ello inestables. Gran parte de los elementos clasificados en las tierras raras no proceden de descubrimientos, sino de invención, porque han sido sintetizados artificialmente y resultan inestables.

Los elementos del grupo 2B son Zn, Cd, Hg y Cn no son representativos de metales de transición.

En definitiva, el actual Sistema Periódico está conformado por 118 Elementos, que se distribuyen del siguiente modo:

---

<sup>201</sup> Petrucci, R. et al. *Química General. Principios y Aplicaciones Modernas*. 11ª Edición. Ed. Pearson: Madrid, 2017. ISBN: 9788490355336

Metales	94
Metaloides	6
No Metales	12
Gases Nobles	6
Total	<hr/> 118

Todos los metales son sólidos salvo cuatro: Mercurio, Cesio, Galio y Francio.

La Tabla 5 muestra las fechas de descubrimiento de los 118 elementos y sus descubridores, en la que se resalta que solo nueve elementos fueron conocidos en la antigüedad (C, Cu, Au, Fe, Pb, Hg, Ag, S y Sn) y cinco (As, Sb, Bi, P y Zn) fueron utilizados también en la antigüedad aunque fueran aislados a partir del siglo XVII, si bien hubo una concentración de hallazgos a partir de mediados del siglo XVIII, en buena medida por las nuevas técnicas de análisis, electroquímica, análisis espectral, etc., que permitieron su descubrimiento.

Para finalizar, hacer referencia al origen de los elementos químicos. Todo apunta a que su origen fue el Big-Ban o Gran Explosión, en el que la elevada temperatura producida tras la explosión formó átomos de Hidrógeno [1 protón y 1 electrón] y de Helio [2 protones, 2 neutrones y 2 electrones]. En las estrellas con masas muy elevadas formadas tras la Gran Explosión, la fuerza gravitacional superó la repulsión de partículas materiales con carga positiva [protones] generándose así elementos químicos mas pesados hasta llegar a la formación del isótopo Fe<sup>56</sup>, que es muy estable. Los elementos más pesados que el Fe<sup>56</sup> se formaron a medida que la temperatura fue disminuyendo con la expansión del universo, que aún continúa, produciéndose el aumento de la masa nuclear por incorporación de neutrones en los núcleos atómicos, cada vez mas pesados, con emisión simultánea de radiaciones beta.



NUMERO ATOMICO	ELEMENTO QUIMICO	DESCUBRIDOR	NUMERO ATOMICO	ELEMENTO QUIMICO	DESCUBRIDOR
1	Hidrogeno	Boyle	60	Neodimio	Carl Auer von Weisbach
2	Helio	Ramsay, Sir	61	Prometio	Mariinsky
3	Litio	George Urbain	62	Samario	Lecoq de Boisbaudran, Paul Emile
4	Berilio	Friedrich Wohler	63	Europio	Moscander, Carl
5	Boro	Davy, Sir Humphry y Gay-Lussac, J.L.	64	Gadolinio	Mariagnac, Charles Galissard de
6	Carbono	Los antiguos	65	Terbio	Moscander, Carl
7	Nitrógeno	Davy, Sir Humphry y Joseph Priestly, Joseph	66	Disprosio	Lecoq de Boisbaudran, Paul Emile
8	Oxígeno	Rutherford	67	Holmio	Soret, J.L.
9	Fluor	Molissan	68	Erbio	Moscander, Carl
10	Nañón	Ramsay, Sir	69	Tulio	Cleve, Theodore
11	Sodio	Davy, Sir Humphry	70	Iturbio	Mariagnac, Jean de
12	Magnesio	Davy, Sir Humphry	71	Lutecio	George Urbain
13	Aluminio	Oersted, Hans Christian	72	Hafnio	Hevesy, George Charles de y Coster, Dirk
14	Silicio	Berzelius, Jons	73	Tantalio	Ekeberg, Anders
15	Fósforo	Brand, Hennig	74	Wolframio	Elhuyar, Fausto
16	Azufre	Los antiguos	75	Renio	Noddack, Walter
17	Cloro	Scheele, Carl Wilhelm	76	Osmio	Tennant, Smithson
18	Argón	Ramsay, Sir	77	Iridio	Tennant, Smithson
19	Potasio	Davy, Sir Humphry	78	Ritainio	Scaliger, Julius
20	Calcio	Davy, Sir Humphry	79	Oro	Prehistoria (3000 a.C.)
21	Escandio	Nilsen, Lars	80	Mercurio	Prehistoria
22	Titanio	Gregor, William	81	Talio	Prehistoria
23	Vanadio	Sefstrom, Nils, Carlos M. del Rio (1801)	82	Plomo	Prehistoria
24	Cromo	Vaughlin	83	Bismuto	Los antiguos
25	Manganeso	Gahn, Johann	84	Polonio	Los antiguos
26	Hierro	Los antiguos	85	Asiatio	Curie, Pierre y Marie
27	Cobalto	Brand, George	86	Radión	Curson, D.R.
28	Niquel	Conslet, Alex	87	Francio	Dorn, Friedrich Ernst
29	Cobre	Los antiguos	88	Radio	Derey, Marguerite
30	Zinc	Los antiguos	89	Actinio	Curie, Pierre y Marie
31	Gallo	Lecoq de Boisbaudran, Paul Emile	90	Torio	Dehlerne, André
32	Arsénico	Clemens Winkler	91	Protactinio	Berzelius, Jons
33	Selenio	Los antiguos	92	Uranio	Kajans, K. y Gohring, O.H.
34	Bromo	Berzelius, Jons	93	Neptunio	Klaproth, Martin
35	Kriptón	Balard, Antoine	94	Plutonio	MckMillan
36	Rubidio	Ramsay, Sir	95	Americio	Seaborg, G.T.
37	Estroncio	Bunsen, R.Wilhelm y Kirchhoff, G. Robert	96	Curio	Seaborg, G.T.
38	Itrio	Crawford, A.	97	Berkelio	Seaborg, G.T.
39	Ytrio	Gadolin, Johann	98	Californio	Seaborg, G.T.
40	Zirconio	Klaproth, Martin	99	Einsteinio	Argonne
41	Niobio	Hatchett, Charles	100	Fermio	Giorso, Albert
42	Molibdeno	Scheele, Carl Wilhelm	101	Mendelevio	Seaborg, G.T.
43	Tecnecio	Perrier, Carlo	102	Nobelio	Nobel Institute for Physics
44	Rutenio	Klaus, Karl	103	Lavrencio	Giorso, Albert
45	Rodio	William Hyde Wollaston	104	Rutherfordio	Dubna Joint Institute de investigación nuclear
46	Paladio	William Hyde Wollaston	105	Dubnio	Giorso, Albert
47	Plata	Los antiguos	106	Seaborgio	Giorso, Albert
48	Cadmio	Stromeyer, Friedrich	107	Borio	Armbruster, Peter y Munzenber, Gottfried
49	Indio	Reich, Ferdinand	108	Hessio	Armbruster, Peter y Munzenber, Gottfried
50	Estadio	Los antiguos	109	Melnerio	Heavy Ion Research Laboratory
51	Antimonio	Los antiguos	110	Darmstadtio	Giorso, Albert
52	Teluro	F. Muller von Reichenstein	111	Ununio	Hoffman, S.
53	Iodo	Courtois, Bernard	112	Ununbio	Hessbuger, F.F., Hoffman, S. y Ninov, V.
54	Xenón	Ramsay, Sir	113	Nihonio	Instituto Riken (Japón)
55	Cesio	Kirchoff, Gustav	114	Flerovio	Dubna Joint Institute de investigación nuclear
56	Bario	Davy, Sir Humphry	115	Moscovio	Dubna Joint Institute de investigación nuclear
57	Lantano	Moscander, Carl	116	Livermorio	Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley
58	Cerio	W. von Hisinger	117	Tenso	Dubna Joint Institute de investigación nuclear
59	Praseodimio	Von Weisbach	118	Oganesson	Dubna Joint Institute de investigación nuclear

Tabla 5. Fechas y autores de los descubrimientos de los elementos químicos

## 1.8. Electroquímica

Como ya se ha puesto de manifiesto, los átomos son los componentes más elementales de la estructura de la materia. Cada átomo consta de un núcleo formado por protones (con carga eléctrica positiva) y neutrones que conjuntamente constituyen la mayoría de la masa atómica, núcleo que está rodeado por electrones con carga eléctrica negativa situados en distintos orbitales (o niveles energéticos) pero en número suficiente como para neutralizar la carga positiva del núcleo. Los electrones corticales pueden ser susceptibles de movilizarse cuando se aporta energía por algún procedimiento, siendo posible compartir uno o varios electrones con otros átomos para alcanzar estructuras atómicas más estables. Esta movilidad electrónica es la causante de las reacciones químicas: para formar distintas sustancias, de la emisión de energía lumínica al pasar los electrones de capas superiores a niveles inferiores y de hacer posible la corriente eléctrica (desplazamiento de electrones en el seno de la materia). Las reacciones químicas pueden producirse de modo espontáneo o no espontáneo. Para facilitar su entendimiento conviene hacer referencia al fenómeno que tiene lugar en el espacio gravitacional, en el que una masa  $m$  situada a una altura  $h$  de la Tierra tiene almacenada una energía potencial calculable con la fórmula de Newton:

$$E = m g h$$

en la que  $g$  es la aceleración de la gravedad. Por conveniencia se define la función potencial gravitacional  $U = g h$ , con lo que la ecuación anterior puede expresarse en la forma:

$$E = m U$$

Si se suelta un cuerpo de masa  $m$ , debido a la atracción gravitacional, la masa se mueve espontáneamente hacia el punto de menor altura, pudiéndose medir la energía potencial gravitacional mediante la ecuación:

$$E_f - E_i = m U_f - m U_i = m \Delta U_{f-i}$$

que representa la diferencia de energía potencial de la masa  $m$  entre el punto de final (f) de llegada y el punto inicial (i) de salida.

En términos gravitatorios, se comprende fácilmente que el movimiento espontáneo tiene lugar cuando se abandona la masa en el punto de partida de mayor altura hacia otro de menor altura, y que cuanto más alto esté mayor energía es aprovechable, por lo que en términos de potencial gravitacional el movimiento espontáneo se produce desde un potencial gravitacional mayor hacia otro punto de menor potencial.

Por tanto,  $\Delta U_{f-i}$  tendría un valor negativo, lo que debe interpretarse como que el sistema pierde energía, que se evacuará en forma de calor. En caso contrario, es decir, si la masa se debe mover de abajo hacia arriba, el potencial gravitacional tendría signo positivo, significando que debe aportarse energía para que pueda tener lugar un proceso no espontáneo.

Con esta consideración anterior puede abordarse fácilmente el concepto de potencial eléctrico, que en principio aparenta ser más complejo al existir cargas negativas y positivas, según que la materia tenga exceso de electrones o déficit de ellos.

Al igual que ocurre con el campo gravitacional con una masa, sucede con una carga  $q$  negativa situada en un campo eléctrico. Se calcula la energía potencial eléctrica  $E$  de una carga  $q$  mediante la definición de la función potencial eléctrico  $V$ , por la expresión:

$$E = q V$$

Una partícula cargada se moverá espontáneamente desde un punto de mayor energía potencial a otro de menor energía. Considerando un punto inicial y un punto final de llegada de la carga,  $i$  y  $f$  respectivamente, puede medirse la energía potencial eléctrica entre dos puntos:

$$E_f - E_i = q V_f - q V_i = q \Delta V_{f,i}$$

Cuando el signo de la energía potencial resulte negativo, se tratará de un proceso espontáneo, y cuando resulte positiva será no espontáneo.

Dado que existen partículas con carga negativa y positiva, el movimiento puede resultar algo complejo, por lo que hay que prestar atención porque las partículas con carga positiva, se mueven desde un potencial eléctrico mayor a otro menor, por lo que  $\Delta V_{f,i}$  será negativo. Sin embargo, en los procesos espontáneos, las cargas negativas se ven obligadas a moverse en sentido contrario, es decir, desde un potencial eléctrico menor hacia uno mayor, por lo que  $\Delta V_{f,i}$  debe ser positivo.

El movimiento de los electrones tiene lugar en los denominados conductores, que a efecto de este trabajo pueden ser básicamente de dos tipos:

- **Conductores metálicos**, y sus aleaciones, así como algunas sustancias como el carbón, en los que no existe desplazamiento ponderable de materia (salvo la ínfima de los propios electrones)
- **Conductores electrolíticos**, que comprenden en general las soluciones de ácidos, bases y sales, además de algunas sustancias específicas y los gases calientes, en los que el movimiento va siempre acompañado de materia. Cuando la corriente abandona el electrolito, no puede llevarse consigo la materia por lo que esta queda liberada en la zona de contacto electrolito-electrodo<sup>202</sup>. Con ello se producen efectos químicos que constituyen el distintivo esencial entre la conducción metálica y la electrolítica.

Los electrones, cuando se desplazan, lo hacen bajo la “presión” de una diferencia de potencial que les obliga a ello, atraídos por una carga positiva o rechazados por la proximidad de otros electrones. Este desplazamiento cesa cuando se consigue un equilibrio de cargas en la materia, que solo puede alcanzarse por “acoplamiento” de una carga negativa con otra del mismo signo, pero distinto sentido de giro (efecto imán) o con otra positiva, es decir, de un electrón (-) con un anión (+), que es un conjunto de núcleo/s y electrones con un déficit de al menos un electrón. Este proceso de “acoplamiento” entraña lo que se conoce como operación redox, concepto básico para poder entender las reacciones químicas y el concepto de potencial redox, que interviene en las reacciones provocadas por las recetas químicas sobre las superficies

---

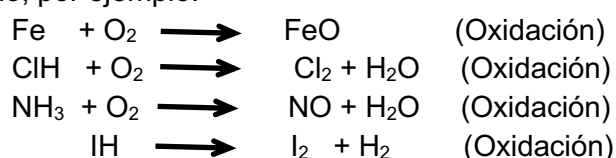
<sup>202</sup> Se llaman electrodos a los conductores que están en contacto con el electrolito para cerrar el circuito eléctrico que permita el movimiento de electrones (corriente eléctrica). El electrodo negativo se denomina cátodo y al positivo ánodo. Los iones que se mueven hacia el cátodo se llaman cationes y los que se mueven hacia el ánodo, aniones.

de los metales y sus aleaciones, que en realidad son procesos de corrosión de los metales, generalmente en medio acuoso, por ataque con productos químicos hidrolizados. Los procesos de corrosión requieren la utilización tanto de las leyes de equilibrio químico [ley de acción de masas de Guldberg y Waage y aquellas relacionadas con la solubilidad] como del equilibrio electroquímico, por lo que conviene abordar sus fundamentos básicos.

### 1.8.1. Reacciones de Oxidación y Reducción

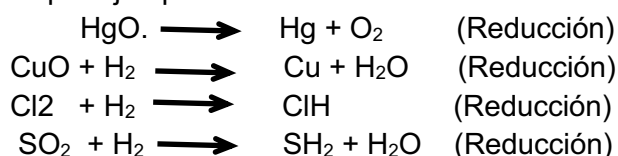
El término oxidación fue introducido por primera vez por Lavoisier en su *Tratado Elemental de Química* de 1789, que ha estado vigente hasta finales del siglo XIX. Define Oxidación como aquel proceso en el que tenía lugar una ganancia de oxígeno, o una pérdida de hidrógeno o las dos cosas a la vez.

Como, por ejemplo:

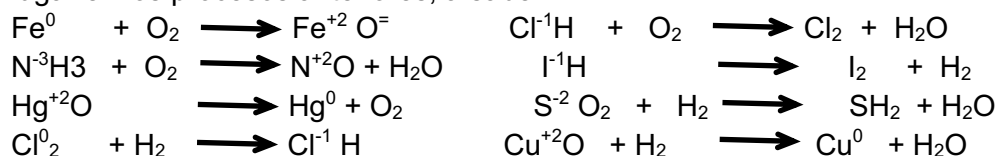


y se conocía con el nombre de Reducción a todo proceso en el que tiene lugar una pérdida de oxígeno, una ganancia de hidrógeno o ambas cosas a la vez.

Como por ejemplos:

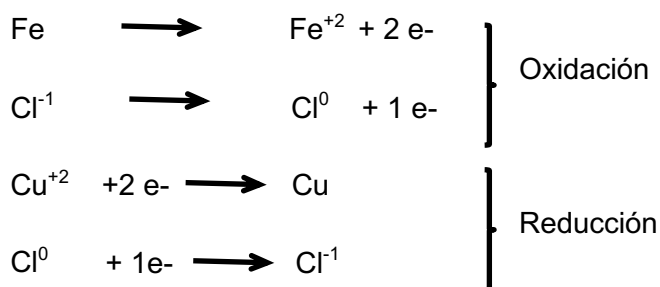


Sin embargo, el descubrimiento del electrón permitió ampliar el concepto de Oxidación y de reducción para centrarse en los cambios de valencia que tienen lugar en los procesos anteriores, a saber:



reacciones en las que se ha representado como superíndices las cargas electrónicas de cada elemento (su valencia). Se observa que Oxidación es una ganancia de valencia positiva, pérdida de valencia negativa o ambas cosas. Mientras que Reducción es toda pérdida de valencia positiva, ganancia de valencia negativa o ambas cosas.

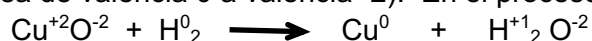
Si se presta atención a los cambios electrónicos que tienen lugar en los procesos anteriores se puede establecer una definición más concreta:



De estos ejemplos se deduce que: **Oxidación es una pérdida de electrones**, mientras que **Reducción es una ganancia de electrones**. O sea, que cuando un elemento gana electrones sufre una reducción y cuando los pierde experimenta una Oxidación. Y dado que todas las reacciones químicas son eléctricamente neutras, si un elemento se oxida (pierde electrones) tiene que intervenir en el proceso necesariamente otro elemento que se reduzca al ganar los electrones perdidos por el elemento que se oxida. Por consiguiente, no existen procesos de oxidación aislada ni de reducción aislada, sino procesos Redox en los que un elemento se reduce a expensas de otro que se oxida. Así, en el proceso:

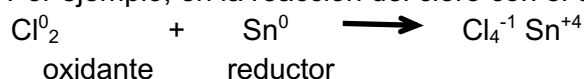


el Fe se oxida (pasa de valencia 0 a valencia +2), mientras que el Oxígeno se reduce (pasa de valencia 0 a valencia -2). En el proceso:



el Cu se reduce (pasa de valencia +2 a valencia 0), mientras que el H se oxida (pasa de valencia 0 a valencia +1).

Estas definiciones permiten generalizar los conceptos clásicos y calificar como procesos redox a reacciones en las que no intervienen ni el oxígeno ni el hidrógeno. Por ejemplo, en la reacción del cloro con el estaño:



proceso en el que el cloro gana electrones y el estaño los pierde:



El cloro se reduce (gana electrones), siendo el estaño el reductor, esto es, el elemento que cede los electrones al cloro para que se reduzca. El estaño se oxida, siendo el cloro oxidante, o sea, el elemento que le quita los electrones al estaño que se oxida. Por tanto: **Oxidante es el cuerpo que se reduce y Reductor es la sustancia que se oxida.**

#### 1.8.1.1. Equivalente de oxidación-reducción

Se trata de un concepto interesante para calcular la cantidad necesaria de átomos que deben intervenir en una reacción química redox para que exista equilibrio, es decir, que no sobre ni falte agente reductor ni oxidante. Se define por la expresión matemática:

$$E_{\text{redox}} = \frac{P_m}{s \cdot \Delta v}$$

siendo:

s = subíndice del elemento que cambia de valencia.

$\Delta v$  = cambio de valencia.

Así, en el ejemplo anterior, el equivalente del cloro y del estaño serán:

$$\text{Cl}_2 = \frac{35,5 \cdot 2}{2 \cdot 1} = 35,5 \quad \text{y} \quad \text{Sn} = \frac{118}{1 \cdot 4} = 29,5$$

### 1.8.1.2. Ajuste de los procesos redox

Con objeto de ajustar el balance de masa de las reacciones químicas, se han desarrollado procedimientos que facilitan este ajuste, ya que a veces resulta engorroso realizarlos por tanteo. Básicamente se utilizan dos procedimientos:

#### 1.8.1.2.1. Método del cambio de valencia

Consideremos la reacción:



El cambio de valencia del azufre es  $\Delta v_S = (6-0) = 6$ , mientras que el cambio de valencia del nitrógeno es  $\Delta v_N = (5 - 2) = 3$ . Esto quiere decir que por cada átomo de azufre han de reaccionar dos átomos de nitrógeno, puesto que han de ser iguales los cambios sufridos en ambos elementos en cuanto al número de electrones. Luego la reacción ajustada debe ser la siguiente:



Este método es muy rápido, pero solamente permite dotar de coeficientes a las moléculas que poseen elementos que cambian de valencia. Los coeficientes de las restantes moléculas, cuando las hay, han de calcularse por tanteo. Aunque más laborioso, tiene mayor interés el siguiente procedimiento, conocido por el método del ion-electrón.

#### 1.8.1.2.2. Método del ion electrón

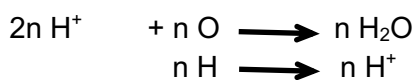
Este método consta de los siguientes pasos:

1º. Se buscan los elementos que cambian de valencia.

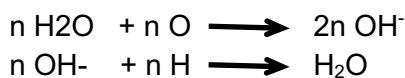
2°. Se disocian (cuando sean ácidos, bases o sales) las moléculas que poseen elementos que cambian de valencia.

3°. Se indica el cambio sufrido por cada elemento en una ecuación parcial expresando en ellas el ion que contiene al elemento que cambia de valencia (caso de no disociarse la molécula se escribe entera su fórmula).

4°. Operando en medio ácido el oxígeno e hidrógeno ganado o perdido por el elemento que cambia de valencia se nivela según el esquema:



Operando en medio alcalino, se nivela de acuerdo con el esquema:



5°. Se igualan eléctricamente ambos miembros de cada ecuación parcial utilizando únicamente electrones,

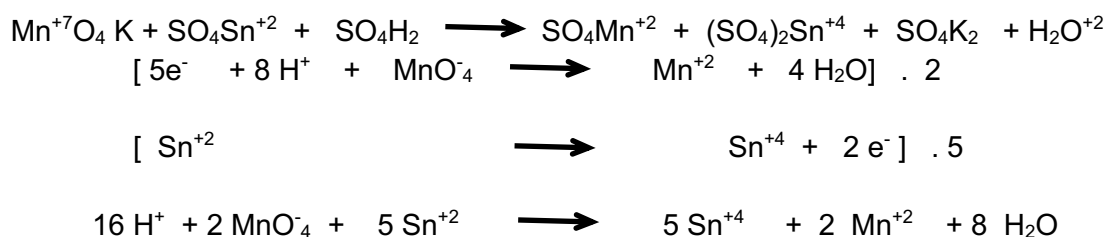
6°. Sirve de comprobación el observar cómo el número de electrones que figura en cada ecuación coincide con el cambio de valencia experimentado por el elemento correspondiente.

7°. Se multiplica cada ecuación parcial por el número de electrones que figuran en su compañera y se suman ambas con lo que eliminados los electrones se obtiene la ecuación iónica del proceso.

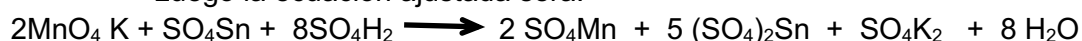
8°. Se pasa de la ecuación iónica a la ecuación molecular, teniendo en cuenta compensar en los dos miembros los elementos que no figuren en la ecuación iónica.

Regla complementaria: Si varios elementos que cambian de valencia pertenecen a una misma molécula se les ajusta juntos en la misma ecuación iónica, colocándolos en idéntica proporción a la que poseen en dicha molécula.

Ejemplo:



Luego la ecuación ajustada será:



La importancia de la ecuación iónica está en que representa el substrato reaccionante en el proceso. Los demás elementos que no figuran en la ecuación iónica pueden sustituirse unos por otros sin que cambie el esquema fundamental de la reacción.

Otro modo de calcular el equivalente de un oxidante o de un reductor consiste en aplicar la expresión;

$$E_{\text{redox}} = \frac{P_m}{n}$$

siendo n = número de electrones que figuran en la ecuación parcial ion-electrón. Así, por ejemplo, el equivalente redox del permanganato en la ecuación ajustada anterior resulta ser  $P_m/5$ .

### 1.8.2. Presión de disolución de los metales

Un metal puede considerarse que está constituido por una redícula cristalina de iones positivos rodeados de una atmósfera de electrones libres denominada gas electrónico. Véase la Figura 43.a.

Un ion del interior del cristal metálico se encuentra en equilibrio porque la resultante de las fuerzas atractivas que sobre él ejerce el gas electrónico y la resultante de las fuerzas repulsivas ejercidas por los demás iones son nulas por simetría. Figura 43.b.

En un ion de la superficie, la resultante de las repulsiones que ejercen sobre él los demás iones positivos es  $F_r$  y la resultante de las atracciones ejercidas por el gas electrónico a este ion es  $-F_a$ . Para que la estructura sea estable es preciso que  $F_r < F_a$ . Figura 43.c.

Si introducimos una barra metálica en agua, Figura 43.d y e, los dipolos de ésta rodearán a los iones y ejercerán sobre cada uno de ellos una fuerza  $F_d$  que obra en el mismo sentido que  $F_r$ . Ahora se cumple que  $F_r + F_d > F_a$ .

La resultante será:

$$P = F_r + 4 F_d - F_a$$

tiende a que los iones positivos pasen a la solución, quedando el metal cargado negativamente (por el gas electrónico). Esta resultante se denomina o *Presión electrolítica de disolución*, que es la tendencia que presenta un metal a enviar iones al seno de la solución con la que se encuentra en contacto.

Los iones positivos cedidos por el metal no se dispersan por el seno del líquido, que atraídos por la barra negativa, quedan en torno a ella, apareciendo en la interface metal/aguas una doble capa eléctrica denominada *Doble capa eléctrica de Helmholtz*, Figura 43.d, responsable de que aparezca una diferencia de potencial (d.d.p)  $E$  entre el líquido y el metal. Esta  $E$  tiene un sentido que se opone a la salida de nuevos iones.

El valor de  $E$  llegará a ser constante, puesto que se alcanzará un equilibrio cuando la tendencia a escapar los iones ( $P$ ) (constante para cada Metal) se

equilibrio con la d.d.p. que se establece. Evidentemente el metal será tanto más negativo cuanto más elevado sea su  $P$ . Así, por ejemplo, el Zn (que tiene elevada  $P$ ) adquirirá un potencial más negativo que el Cu (que tiene baja  $P$ ).

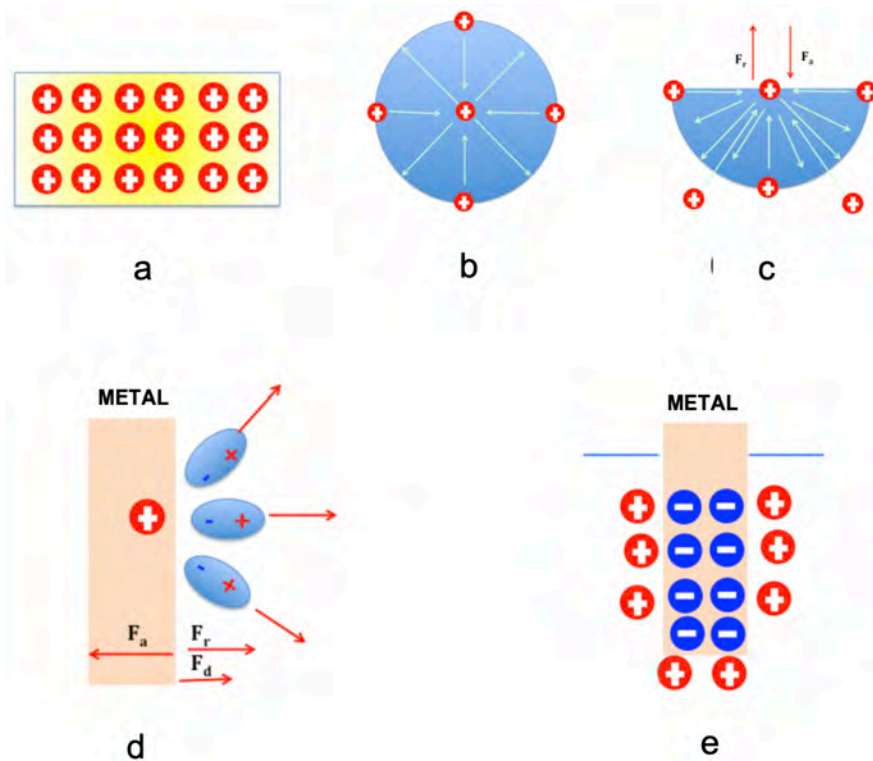


Figura 43. Esquemas sobre presión electrolítica de disolución

### 1.8.3. Potencial de electrodo

Si se pone una barra metálica en contacto con una solución de sus iones (por ejemplo,  $\text{Cu}/\text{Cu}^{++}$ ,  $\text{Zn}/\text{Zn}^{++}$ , etc.), Figura 44, se ofrecen dos tendencias antagónicas: de un lado el metal, en virtud de su presión de disolución ( $P$ ), tiende a enviar iones a la solución cargándose negativamente; de otra parte, la solución, debido a su presión osmótica<sup>203</sup>  $\pi$  (proporcional a su concentración), tiende a depositar iones sobre el electrodo metálico cargándolo positivamente. Podrán darse tres casos:

- Si  $P = \pi$  el metal no adquiere ninguna carga; recibe el mismo número de iones que envía a la solución ( $E = 0$ ). Figura 44.a.

<sup>203</sup> Presión que debe aplicarse sobre una solución para impedir el paso del solvente hacia la solución a través de una membrana semipermeable [que por tamaño de sus poros permite pasar el solvente y no el soluto], con lo que aumenta el nivel ( $\pi$ ) de la solución hasta el valor que compense hidrostáticamente el paso de más solvente.

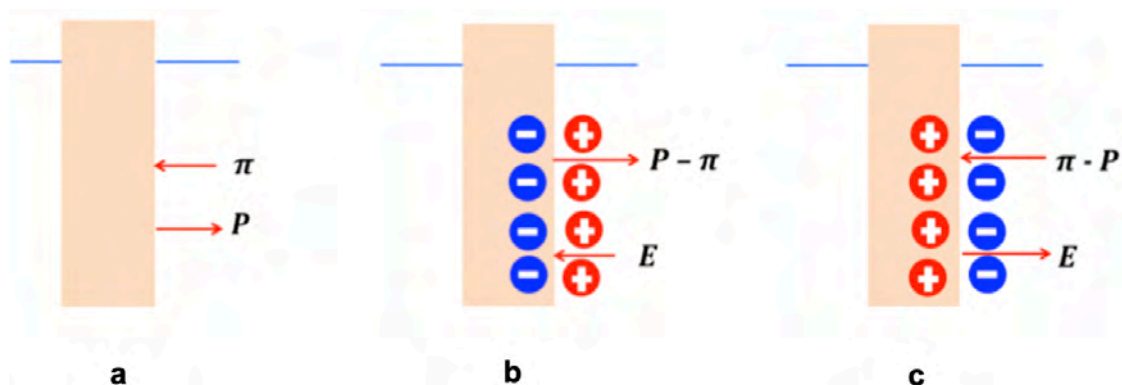


Figura 44. Esquemas sobre Potencial de Electrodo

- Si  $P > \pi$  salen iones del metal a la solución. El metal adquiere carga negativa y la solución positiva, apareciendo una d.d.p.  $E$  que se opone a la salida de nuevos iones. Se alcanzará un estado de equilibrio cuando el valor de  $E$  sea el necesario para igualar a la tendencia a escape de los iones representada por el valor  $P - \pi$ . Figura 44.b.
- Si  $P < \pi$  el electrodo metálico se hace positivo y la solución negativa. La d.d.p. establecida entre ambos tiene un sentido tal que se opone al ingreso de nuevos iones en el metal. Se alcanzará también un estado de equilibrio cuando el valor de  $E$  sea suficiente para equilibrar  $\pi - P$ , que ha de ser grande; para ello elegimos un metal de pequeña presión de disolución (por ejemplo, el Cu), y para que  $\pi$  sea máxima lo introduciremos en una solución saturada de  $SO_4Cu$ . Figura 44.c.

El valor de  $P$  es fijo para cada metal, no sucediendo lo mismo con  $\pi$ , cuyo valor se puede elegir a voluntad dentro de ciertos límites (modificando la concentración de la solución), por lo que el valor de  $E$  puede variar si se desea sin más que dar a la concentración el valor oportuno. Este valor  $E$  se denomina *Potencial de Electrodo*, que es el potencial que adquiere un electrodo en contacto con una solución de sus iones a  $25^\circ C$ .

#### 1.8.4. Pilas Electroquímicas

Con esta simple base teórica es fácil comprender el funcionamiento de una pila elemental, como es la pila Daniell<sup>204</sup> (1790-1845) en la que el cobre se reduce en el polo negativo (cátodo).

Si se desea obtener la máxima fuerza electromotriz (abreviadamente **f.e.m**) en una pila, tendremos que disponer de dos semielementos de muy diferente potencial de electrodo (uno muy negativo y otro muy positivo).

Para que un electrodo sea muy positivo la diferencia  $\pi - P$  ha de ser grande; para ello se elige un metal de pequeña presión de disolución (por ejemplo, el Cu), y para que  $\pi$  sea máxima se introduce en una solución saturada de  $\text{SO}_4\text{Cu}$  (así la concentración en  $\text{Cu}^{++}$  es máxima).

Para el electrodo negativo se necesita que la diferencia  $P - \pi$  sea lo mayor posible. Se elige por ello un elemento de elevada  $P$  (por ejemplo, el Zn). Teóricamente, para que este electrodo adquiriera la mayor carga negativa posible,  $\pi$  debía ser cero (introducirlo en agua pura). En tal caso, dado que el agua pura conduce muy mal la corriente eléctrica, la resistencia interna de la pila sería muy elevada y se obtendría una débil intensidad. Es preferible sacrificar un poco el valor de la f.e.m. en beneficio de que la pila suministre una intensidad apreciable. Para eso el electrodo de cinc se introduce en una solución muy diluida de ácido sulfúrico (para hacerla conductora).

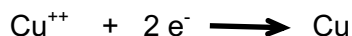
Para cerrar el circuito se unen los dos semielementos de la pila mediante un puente salinos, esto es, un sifón lleno con una solución electrolítica conductora. Al cerrar el circuito pasaran electrones del electrodo de cinc (negativo) al cobre (positivo) para nivelar sus potenciales. Veamos los fenómenos que ocurren en los electrodos:

a. Electrodo negativo: Al salir electrones del mismo disminuye el valor de  $E$  que equilibraba a la diferencia  $P - \pi$  saldrán más iones para restablecer el valor de  $E$ , con lo cual el cinc del electrodo pasa a la solución en forma iónica:



Durante el funcionamiento de la pila se disuelve la barra de cinc.

b. Electrodo positivo: Al recibir electrones se neutralizan los iones positivos que posee:



de esta forma disminuye el valor de  $E'$  que equilibraba el valor de  $\pi - P$ , pasarán nuevos iones de la solución para restablecer el valor de  $E'$ . Por tanto, al funcionar la pila el ion cobre de la solución se deposita sobre el electrodo.

Al funcionar la pila, se inicia su agotamiento. En el semielemento positivo la concentración del ion cúprico va decreciendo por descarga de este ion sobre el electrodo. La presión osmótica de la solución va disminuyendo y la diferencia

---

<sup>204</sup> Fue el primer profesor de Química del King's College de Londres y publicó su invención en Philosophical Transactions of the Royal Society of London en 1836.

$\pi - P$  se hace cada vez menor. El potencial del electrodo de cobre va siendo cada vez menos positivo.

En el semielemento negativo el zinc del electrodo se va disolviendo. La solución se concentra en iones cinc, la presión osmótica crece y la diferencia  $P - \pi$  va haciéndose cada vez menor. El electrodo de cinc será poco a poco menos negativo. Cuando llegue el momento en el que ambos electrodos tengan el mismo potencial, será nula la f.e.m. entre ambos y la pila dejara de funcionar.

#### 1.8.4.1. Cálculo del potencial de electrodo: Ecuación de Nernst

Supongamos un electrodo metálico de presión de disolución  $P$  en contacto con sus iones a una concentración  $c$  (que ejerce una presión osmótica  $\pi$ ). Establecido el equilibrio entre metal y solución, sea  $E$  el potencial del electrodo. Supongamos que en estas circunstancias se hace pasar  $\Delta m$  iones-gramo del metal desde la barra metálica a la solución. El valor de  $\Delta m$  suficientemente pequeño para que no modifique sensiblemente ni  $E$  ni la concentración de la disolución. Véase Figura 45.a.

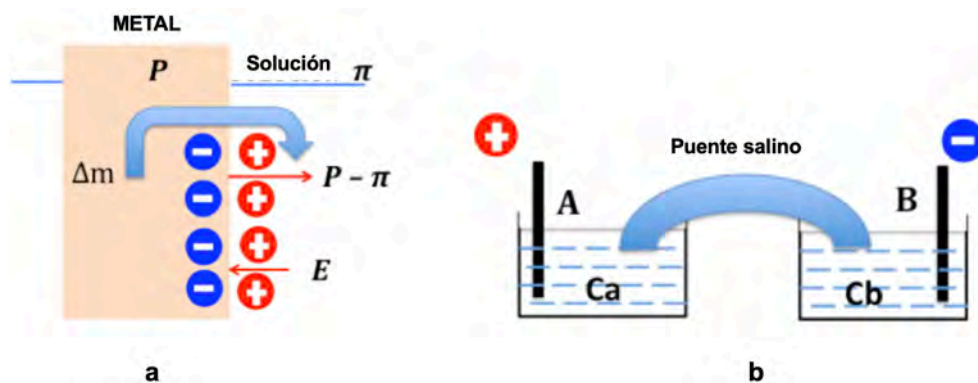


Figura 45. Potencial de Electrodo

El trabajo efectuado en esta transformación se puede evaluar por dos vías distintas que, naturalmente, han de conducir a valores concordantes:

1°. Evaluado por vía Termodinámica: se trata de una colectividad de partículas que pasan desde el metal (donde se encuentran a la presión  $P$ ) a la solución (donde tendrán la presión osmótica  $\pi$ ). El trabajo efectuado, si la transformación es isoterma, valdrá:

$$W = \Delta m \cdot R \cdot T \cdot L \frac{P}{\pi}$$

2°. Calculado por vía eléctrica: estos  $\Delta m$  iones-gramo son portadores de una carga eléctrica  $\Delta q = \Delta m \cdot n F$ , siendo  $n$  la valencia de los iones y  $F$

el valor de la constante de Faraday. Como estos  $\Delta q$  culombios han atravesado la d.d.p.  $E$  (del polo - al polo +) el trabajo valdrá:

$$W = - \Delta m \cdot n \cdot E \cdot F$$

igualando ambas expresiones resulta:

$$E = \frac{RT}{nF} \ln \frac{\pi}{P}$$

y como la presión osmótica es proporcional a la concentración,  $\pi = k \cdot c$ , con lo que resulta la Ecuación de Nernst, básica para este trabajo de investigación:

$$E = E_0 + \frac{RT}{nF} \ln c$$

siendo  $E_0 = \frac{RT}{nF} \ln \frac{k}{P}$

una constante para cada metal, denominada Potencial Normal (o Estandar). Puesto que para  $c = 1$  se tiene que  $E = E_0$ , es fácil dar con el sentido físico del **Potencial Normal** de un elemento: *Es el valor que adquiere el potencial de un electrodo en contacto con la solución 1 Molar de sus iones.*

Si se construye, como se recoge en la Figura 45.b, una pila formada por dos semi-elementos: Uno positivo (un metal A en contacto con la solución de sus iones a la concentración  $C_a$ ); y otro negativo (un metal B en contacto con una solución de sus iones a la concentración  $C_b$ ).

Dado que la f.e.m. será:

$$e = E^a_0 - E^b_0 + \frac{RT}{nF} \ln \frac{C_a}{C_b}$$

suponiendo que ambos elementos dan iones de la misma valencia ( $n$ ) y que el electrodo A es positivo respecto de B.

Dado que los valores de los potenciales aislados de los semielementos no pueden determinarse experimentalmente, ni pueden conocerse los valores absolutos de los potenciales normales, sí es posible con la ecuación anterior calcular diferencias entre los potenciales normales de dos elementos ( $E^a_0 - E^b_0$ ).

Para poder realizar operaciones sobre valores concretos de cada electrodo aislado, se ha elegido el hidrógeno como elemento de referencia, asignándole, por convenio, un valor nulo a su potencial

normal. Para construir este electrodo ( $H_2/H^+$ ) hay que poner hidrógeno en contacto con la solución uno molar de sus iones. Esto último es posible simplemente haciendo una solución 1 Normal de un ácido fuerte. Lo primero se consigue haciendo pasar gas hidrógeno a la presión de una atmósfera sobre una lámina de platino recubierta de platino esponjoso (que tiene la propiedad de ocluir y adsorber fuertemente al gas hidrógeno). Construyendo una pila con este elemento y otro cualquiera, aplicando la expresión anterior se determina el potencial normal de los demás elementos químicos. Así se ha podido construir, recurriendo a diversas fuentes<sup>205,206,207,208</sup>, la Tabla 6 en la que aparecen clasificados ordenadamente algunos elementos de interés para este trabajo, lo que constituye la denominada **serie electroquímica**, que es una ordenación de los elementos químicos según sus potenciales normales referidos al del electrodo normal de hidrógeno que se toma como cero.

Los elementos superiores al H tienen potenciales negativos (tienen más tendencia a oxidarse que el hidrógeno), los inferiores figuran con los valores positivos (presentan más tendencia a reducirse que el hidrógeno). Esto es, en la serie electroquímica los elementos aparecen ordenados por orden creciente de sus potenciales de reducción. Un sistema tiene mayor tendencia a reducirse cuanto mayor potencial presente. Por esta razón los metales superiores al H en la serie lo consiguen desplazar de los ácidos, cosa imposible de realizar con los metales situados por debajo del hidrógeno; y por este motivo, **cualquier metal es capaz de desplazar de sus compuestos iónicos a todos los restantes metales que estén por debajo en la citada Tabla 6**. En esta tabla, los agentes más reductores ( $Li^+$ ,  $K^+$ ,...) están situados al lado izquierdo, en la parte superior, mientras que los agentes más oxidantes ( $F_2$ ,  $O_3$ ,..) están situados en el lado izquierdo, en la parte inferior.

La utilidad de los Potenciales de Electrodo se encuentra en la información que aporta sobre el poder oxidante y reductor de los elementos y sus iones y, en consecuencia, **permite anticipar el comportamiento de unos elementos frente a otros en las reacciones redox**. Así se evidencia que el Flúor es el elemento con mayor capacidad de oxidación (capacidad de tomar electrones),

---

<sup>205</sup> Mantel, C.L. *Ingeniería Electro-Química*. Ed. Reverté: Barcelona, 1980. Pp. 42. ISBN:978-84-291-7940-8.

<sup>206</sup> Babor, J.A. e Ibarz, J. *Química General Moderna*. Ed. Marín: Barcelona, 1964. Pp. 492. ISBN: 8471029979.

<sup>207</sup> Latimer, W.M. *Oxidation Potentials*. Second Edition. Prentice-Hall, Inc.: Englewood Cliffs, N.J. 1952. ISBN: B007AY34F2

<sup>208</sup> Petrucci, R. y otros. *Química General. Principios y Aplicaciones Modernas*. 11ª Edición. Ed. Pearson: Madrid, 2017. Apéndice D-Tabla D.4: Pp. A27-A29. ISBN: 9788490355336.

mientras que el Litio es el elemento con mayor capacidad de reducción (capacidad de ceder electrones). Otros ejemplos aclaratorios serían: el ion dicromato  $\text{Cr}_2\text{O}_7^-$  puede oxidar a cualquier ion que esté situado por encima de él en la Tabla 6, como es el ion férrico  $\text{Fe}^{+++}$ , mientras que el ion  $\text{Fe}^{+++}$  podría oxidar al ion cuproso  $\text{Cu}^+$ , pero no al ion  $\text{Hg}^{++}$  al estar este último situado debajo de aquel en la Tabla 6 y tener, por tanto, mayor capacidad de oxidación que el  $\text{Fe}^{+++}$ .

Todos estos conceptos, incluidos en la ecuación de Nernst, condujo al químico belga Marcel Pourbaix (1904-1998) a representar gráficamente la correlación que existe entre el potencial normal de electrodo, el pH de las soluciones salinas y la temperatura, lo que se conoce como Diagramas de Pourbaix<sup>209</sup>, muy útiles para visualizar e interpretar los procesos de corrosión y la estabilidad de los productos de reacción, lo que forman parte esencial en la formulación de recetas para dar pátinas a los metales. En definitiva, como recoge la Norma ASTM 15-93 sobre este tipo de diagrama:

*“se trata de una representación gráfica que muestra las regiones de estabilidad termodinámica de las especies en los sistemas metal-electrolito acuoso”<sup>210</sup>.*

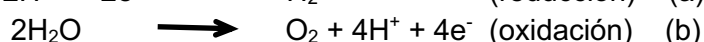
La construcción de los Diagramas de Pourbaix requiere de la aplicación de la Tabla 6 de potenciales normales de electrodo y la disponibilidad de la denominada Energía libre de Gibbs ( $\Delta G$ ) que posteriormente se tratará.

Conceptualmente conviene tener presente que el Diagrama de Pourbaix está basado en la hidrólisis de productos químicos, por lo que el conocimiento de los efectos que tiene el agua sobre el conjunto del sistema es esencial. El agua y sus componentes están sometidos a dos fenómenos distintos:

Disociación de sus iones:



y procesos redox en reacciones electroquímicas:



El proceso de disociación está regido por las leyes del equilibrio químico y termodinámico, que vinculan el mismo a su constante de equilibrio  $K$  [ con valor conocido de  $10^{-14}$  a  $25^\circ\text{C}$  y  $1 \text{ atm}$  ], y a la concentración de los iones presentes, pudiéndose escribir:

$$K = 10^{-14}$$

<sup>209</sup> Pourbaix, M. *Lectures on Electrochemical Corrosion*. CEBELCOR. Plenum Press: New York-London. 1973. Pp.16-17. ISBN: 0-306-30449-X.

<sup>210</sup> ASTM G 15-93: *Standard terminology relating to corrosion and corrosion testing*. Ed. ASTM International, 1993.

Que tomando logaritmos permite escribir:

$$\log K = \log( [H^+] \cdot [OH^-] ) = -14$$

o lo que es lo mismo:

$$\log [H^+] + \log [OH^-] = -14$$

Por convenio internacionalmente aceptado, se denomina:

$$pH = -\log [H^+]$$

de donde se deduce que para:

$$pH = 7 \quad [H^+] = [OH^-]$$

que es una solución neutra

$$pH < 7 \quad [H^+] > [OH^-]$$

que es una solución ácida

$$pH > 7 \quad [H^+] > [OH^-]$$

que es una solución alcalina, es decir, que a  $pH = 7$ , no se produce intercambio alguno de electrones en el agua, aunque sus componentes sean iones positivos y negativos. Pero a  $pH$  ácido o básico cambia la situación, produciéndose un aumento de la concentración de protones (con disminución de iones  $OH^-$ ) y en una solución alcalina ocurre lo contrario.

Utilizando la Tabla 6 sabemos que la reacción (a) anteriormente escrita de reducción del hidrógeno, por convenio tiene un potencial normal de electrodo nulo, y para la segunda reacción (b) de Oxidación, su potencial normal de electrodo es 1,223 Voltios.

Si se aplica la Ecuación de Nernst, en condiciones estándar de  $25^\circ C$  y 1 atmósfera, se llega a las siguientes expresiones para las dos reacciones anteriores:

$$E_a = 0,000 - 0,0591 \text{ pH}$$

$$E_b = 1,223 - 0,0591 \text{ pH}$$

que correlacionan, para cada reacción, el potencial normal de electrodo con el  $pH$  del medio. Esto permite dibujar el Diagrama de Pourbaix básico del equilibrio químico y electroquímico del agua, lo que se refleja gráficamente en la Figura 46.

La interpretación de este diagrama resulta de interés porque cada línea indica el límite de potencial normal y  $pH$  a partir del cual: se produce hidrógeno gaseoso captando cada molécula dos electrones (línea inclinada azul) o se produce oxígeno gaseoso, liberándose cuatro electrones si las condiciones del par  $E$ - $pH$  sobrepasa la línea roja. La franja situada entre ambas líneas corresponde a la zona de estabilidad o inmunidad del agua, teniendo máxima estabilidad en el entorno del punto con coordenadas (0,7). Esta representación gráfica permite además visualizar distintas zonas de comportamiento de los iones del agua, y en su caso, de otras especies presentes en el medio, según se señala en las cuatro esquinas.

**PODER OXIDANTE CRECIENTE**

Media reacción	E° (V)	Media reacción	E° (V)
Li <sup>+</sup> (aq) + e <sup>-</sup> → Li(s)	-3.05	Sn <sup>4+</sup> (aq) + 2e <sup>-</sup> → Sn <sup>2+</sup> (aq)	+0.15
K <sup>+</sup> (aq) + e <sup>-</sup> → K(s)	-2.93	Cu <sup>2+</sup> (aq) + e <sup>-</sup> → Cu <sup>+</sup> (aq)	+0.16
Cs <sup>+</sup> (aq) + e <sup>-</sup> → Cs(s)	-2.92	HSO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (aq) + 3H <sup>+</sup> + 2e <sup>-</sup> → 2H <sub>2</sub> O(l) + SO <sub>2</sub> (aq)	+0.16
Ba <sup>2+</sup> (aq) + 2e <sup>-</sup> → Ba(s)	-2.91	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (aq) + 4H <sup>+</sup> + 2e <sup>-</sup> → 2H <sub>2</sub> O(l) + SO <sub>2</sub> (aq)	+0.17
Sr <sup>2+</sup> (aq) + 2e <sup>-</sup> → Sr(s)	-2.89	SbO <sup>+</sup> + 2H <sup>+</sup> + 3e <sup>-</sup> → Sb(s) + H <sub>2</sub> O	+0.20
Ca <sup>2+</sup> (aq) + 2e <sup>-</sup> → Ca(s)	-2.76	Bi <sup>3+</sup> (aq) + 3e <sup>-</sup> → Bi(s)	+0.32
Na <sup>+</sup> (aq) + e <sup>-</sup> → Na(s)	-2.71	Cu <sup>3+</sup> (aq) + 2e <sup>-</sup> → Cu(s)	+0.34
Mg <sup>2+</sup> (aq) + 2e <sup>-</sup> → Mg(s)	-2.38	[Fe(CN) <sub>6</sub> ] <sup>3-</sup> (aq) + e <sup>-</sup> → [Fe(CN) <sub>6</sub> ] <sup>4-</sup> (aq)	+0.36
H <sub>2</sub> + 2e <sup>-</sup> → 2H <sup>-</sup>	-2.25	H <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> + 6H <sup>+</sup> + 3e <sup>-</sup> → Mo <sup>3+</sup> (aq)	+0.43
Al <sup>3+</sup> (aq) + 3e <sup>-</sup> → Al(s)	-1.68	CH <sub>3</sub> OH(aq) + 2H <sup>+</sup> + 2e <sup>-</sup> → CH <sub>4</sub> (g) + H <sub>2</sub> O	+0.50
Ti <sup>2+</sup> (aq) + 2e <sup>-</sup> → Ti(s)	-1.63	Cu <sup>+</sup> (aq) + e <sup>-</sup> → Cu(s)	+0.52
TiO(s) + 2H <sup>+</sup> + 2e <sup>-</sup> → Ti(s) + H <sub>2</sub> O	-1.31	I <sub>2</sub> (s) + 2e <sup>-</sup> → 2I <sup>-</sup> (aq)	+0.54
Ti <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (s) + 2H <sup>+</sup> + 2e <sup>-</sup> → 2TiO(s) + H <sub>2</sub> O	-1.23	MnO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (aq) + 2H <sub>2</sub> O(l) + 4e <sup>-</sup> → MnO <sub>2</sub> (s) + 4OH <sup>-</sup>	+0.59
Ti <sup>3+</sup> (aq) + 3e <sup>-</sup> → Ti(s)	-1.21	S <sub>2</sub> O <sub>8</sub> <sup>2-</sup> + 6H <sup>+</sup> + 4e <sup>-</sup> → 2S <sub>2</sub> (s) + 3H <sub>2</sub> O	+0.60
Mn <sup>2+</sup> (aq) + 2e <sup>-</sup> → Mn(s)	-1.18	H <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> (aq) + 2H <sup>+</sup> + 3e <sup>-</sup> → MoO <sub>2</sub> (s) + 2H <sub>2</sub> O	+0.65
Sn(s) + 4H <sup>+</sup> + 4e <sup>-</sup> → SnH <sub>4</sub> (g)	-1.07	H <sub>2</sub> SeO <sub>3</sub> (aq) + 4H <sup>+</sup> + 4e <sup>-</sup> → Se(s) + 3H <sub>2</sub> O	+0.74
SiO <sub>2</sub> (s) + 4H <sup>+</sup> + 4e <sup>-</sup> → Si(s) + 2H <sub>2</sub> O	-0.91	Fe <sup>3+</sup> (aq) + e <sup>-</sup> → Fe <sup>2+</sup> (aq)	+0.77
B(OH) <sub>3</sub> (aq) + 3H <sup>+</sup> + 3e <sup>-</sup> → B(s) + 3H <sub>2</sub> O	-0.89	Hg <sub>2</sub> <sup>2+</sup> (aq) + 2e <sup>-</sup> → 2Hg(l)	+0.80
TiO <sup>+</sup> (aq) + 2H <sup>+</sup> + 4e <sup>-</sup> → Ti(s) + H <sub>2</sub> O	-0.86	Ag <sup>+</sup> (aq) + e <sup>-</sup> → Ag(s)	+0.80
2 H <sub>2</sub> O(l) + 2e <sup>-</sup> → H <sub>2</sub> (g) + 2 OH <sup>-</sup> (aq)	-0.83	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (aq) + 2H <sup>+</sup> (aq) + e <sup>-</sup> → NO <sub>2</sub> (g) + H <sub>2</sub> O(l)	+0.80
Zn <sup>2+</sup> (aq) + 2e <sup>-</sup> → Zn(s)	-0.76	Hg <sup>2+</sup> (aq) + 2e <sup>-</sup> → Hg(l)	+0.85
Cr <sup>3+</sup> (aq) + 3e <sup>-</sup> → Cr(s)	-0.74	MnO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (aq) + H <sup>+</sup> + e <sup>-</sup> → HMnO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (aq)	+0.90
Au(CN) <sub>2</sub> <sup>-</sup> (aq) + e <sup>-</sup> → Au(s) + 2 CN <sup>-</sup> (aq)	-0.60	2Hg <sup>2+</sup> (aq) + 2e <sup>-</sup> → Hg <sub>2</sub> <sup>2+</sup> (aq)	+0.91
2TiO <sub>2</sub> (s) + 2H <sup>+</sup> + 2e <sup>-</sup> → Ti <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (s) + H <sub>2</sub> O	-0.56	MnO <sub>2</sub> (s) + 4H <sup>+</sup> + e <sup>-</sup> → Mn <sup>3+</sup> (aq) + 2H <sub>2</sub> O	+0.95
H <sub>3</sub> PO <sub>2</sub> (aq) + H <sup>+</sup> + e <sup>-</sup> → P(s) + 2H <sub>2</sub> O	-0.51	H <sub>2</sub> SeO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (aq) + 3H <sup>+</sup> + 2e <sup>-</sup> → H <sub>2</sub> SeO <sub>3</sub> (aq) + H <sub>2</sub> O	+1.15
H <sub>3</sub> PO <sub>3</sub> (aq) + 3H <sup>+</sup> + 3e <sup>-</sup> → P(s) + 3H <sub>2</sub> O	-0.50	Ag <sub>2</sub> O(s) + 2H <sup>+</sup> + 2e <sup>-</sup> → 2Ag(s)	+1.17
H <sub>3</sub> PO <sub>3</sub> (aq) + 2H <sup>+</sup> + 2e <sup>-</sup> → H <sub>3</sub> PO <sub>2</sub> (aq) + H <sub>2</sub> O	-0.50	ClO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (aq) + 2H <sup>+</sup> + e <sup>-</sup> → ClO <sub>2</sub> (g) + H <sub>2</sub> O	+1.18
Fe <sup>2+</sup> (aq) + 2e <sup>-</sup> → Fe(s)	-0.44	ClO <sub>2</sub> (g) + H <sup>+</sup> + e <sup>-</sup> → HClO <sub>2</sub> (aq)	+1.19
2CO <sub>2</sub> (g) + 2H <sup>+</sup> (aq) + 2e <sup>-</sup> → HOCCOOH(aq)	-0.43	MnO <sub>2</sub> (s) + 4H <sup>+</sup> + 2e <sup>-</sup> → Mn <sup>2+</sup> (aq) + 2H <sub>2</sub> O	+1.23
Cr <sup>3+</sup> (aq) + e <sup>-</sup> → Cr <sup>2+</sup> (aq)	-0.42	Cl <sub>2</sub> (g) + 2e <sup>-</sup> → 2Cl <sup>-</sup> (aq)	+1.36
Cd <sup>2+</sup> (aq) + 2e <sup>-</sup> → Cd(s)	-0.40	Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> <sup>2-</sup> (aq) + 14H <sup>+</sup> + 6e <sup>-</sup> → 2Cr <sup>3+</sup> (aq) + 7H <sub>2</sub> O	+1.33
PbSO <sub>4</sub> (s) + 2e <sup>-</sup> → Pb(s) + SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (aq)	-0.36	CoO <sub>2</sub> (s) + 4H <sup>+</sup> + e <sup>-</sup> → Co <sup>3+</sup> (aq) + 2H <sub>2</sub> O	+1.42
Co <sup>2+</sup> (aq) + 2e <sup>-</sup> → Co(s)	-0.28	2BrO <sub>3</sub> <sup>-</sup> + 12H <sup>+</sup> + 10e <sup>-</sup> → Br <sub>2</sub> (l) + 6H <sub>2</sub> O	+1.48
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (aq) + 2H <sup>+</sup> + 2e <sup>-</sup> → H <sub>3</sub> PO <sub>3</sub> (aq) + H <sub>2</sub> O	-0.28	2ClO <sub>3</sub> <sup>-</sup> + 12H <sup>+</sup> + 10e <sup>-</sup> → Cl <sub>2</sub> (g) + 6H <sub>2</sub> O	+1.49
Ni <sup>2+</sup> (aq) + 2e <sup>-</sup> → Ni(s)	-0.25	MnO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (aq) + 8H <sup>+</sup> + 5e <sup>-</sup> → Mn <sup>2+</sup> (aq) + 4H <sub>2</sub> O	+1.51
As(s) + 3H <sup>+</sup> + 3e <sup>-</sup> → AsH <sub>3</sub> (g)	-0.23	NiO <sub>2</sub> (s) + 4H <sup>+</sup> + 2e <sup>-</sup> → Ni <sup>2+</sup> (aq)	+1.59
MoO <sub>2</sub> (s) + 4H <sup>+</sup> + 4e <sup>-</sup> → Mo(s) + 2H <sub>2</sub> O	-0.15	2HClO(aq) + 2H <sup>+</sup> + 2e <sup>-</sup> → Cl <sub>2</sub> (g) + 2H <sub>2</sub> O	+1.63
Si(s) + 4H <sup>+</sup> + 4e <sup>-</sup> → SiH <sub>4</sub> (g)	-0.14	Ag <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (s) + 6H <sup>+</sup> + 4e <sup>-</sup> → 2Ag <sup>+</sup> (aq) + 3H <sub>2</sub> O	+1.67
Sn <sup>2+</sup> (aq) + 2e <sup>-</sup> → Sn(s)	-0.14	Pb <sup>4+</sup> (aq) + 2e <sup>-</sup> → Pb <sup>2+</sup> (aq)	+1.69
O <sub>2</sub> (g) + H <sup>+</sup> + e <sup>-</sup> → HO <sub>2</sub> <sup>•</sup> (aq)	-0.13	MnO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (aq) + 4H <sup>+</sup> + 3e <sup>-</sup> → MnO <sub>2</sub> (s) + 2H <sub>2</sub> O	+1.70
Pb <sup>2+</sup> (aq) + 2e <sup>-</sup> → Pb(s)	-0.13	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (aq) + 2H <sup>+</sup> + 2e <sup>-</sup> → 2H <sub>2</sub> O	+1.76
Se(s) + 2H <sup>+</sup> + 2e <sup>-</sup> → H <sub>2</sub> Se(g)	-0.11	AgO(s) + 2H <sup>+</sup> + e <sup>-</sup> → Ag <sup>+</sup> (aq) + H <sub>2</sub> O	+1.77
SnO(s) + 2H <sup>+</sup> + 2e <sup>-</sup> → Sn(s) + H <sub>2</sub> O	-0.10	Au <sup>+</sup> (aq) + e <sup>-</sup> → Au(s)	+1.83
SnO <sub>2</sub> (s) + 2H <sup>+</sup> + 2e <sup>-</sup> → SnO(s) + H <sub>2</sub> O	-0.09	Co <sup>3+</sup> (aq) + e <sup>-</sup> → Co <sup>2+</sup> (aq)	+1.92
WO <sub>3</sub> (aq) + 6H <sup>+</sup> + 6e <sup>-</sup> → W(s)	-0.09	Ag <sup>2+</sup> (aq) + e <sup>-</sup> → Ag <sup>+</sup> (aq)	+1.98
P(s) + 3H <sup>+</sup> + 3e <sup>-</sup> → PH <sub>3</sub> (g)	-0.06	HMnO <sub>4</sub> (aq) + 3H <sup>+</sup> + 2e <sup>-</sup> → MnO <sub>2</sub> (s) + 2H <sub>2</sub> O	+2.09
HCOOH(aq) + 2H <sup>+</sup> + 2e <sup>-</sup> → HCHO(aq) + H <sub>2</sub> O	-0.03	F <sub>2</sub> (g) + 2e <sup>-</sup> → 2F <sup>-</sup> (aq)	+2.87
2H <sup>+</sup> (aq) + 2e <sup>-</sup> → H <sub>2</sub> (g)	0.00	F <sub>2</sub> (g) + 2H <sup>+</sup> + 2e <sup>-</sup> → 2HF(aq)	+3.05

**PODER REDUCTOR CRECIENTE**

Tabla 6. Potenciales Normales del Electrodo de algunos elementos

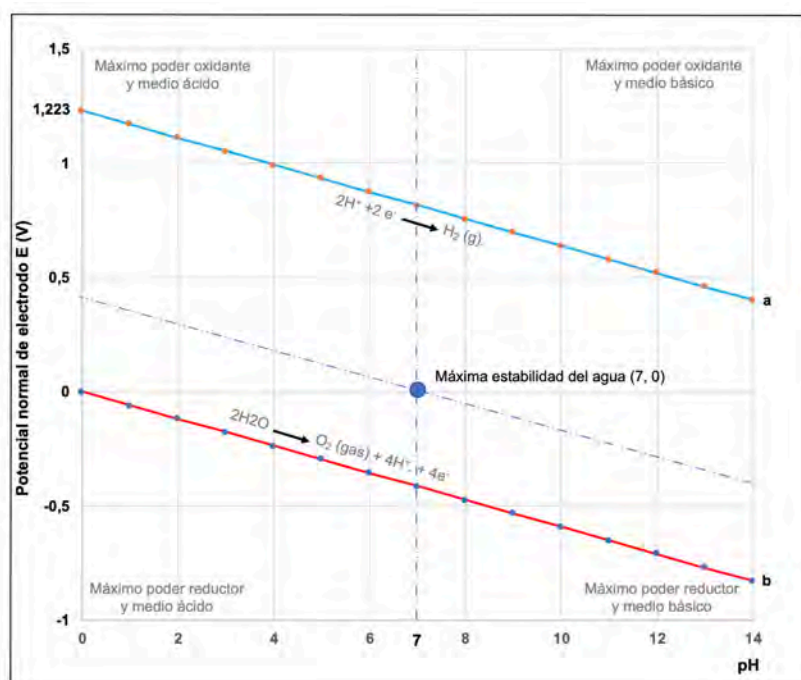


Figura 46. Diagrama de Pourbaix para el Agua (25°C y 1 atm.)

#### 1.8.4.2. F.e.m de una pila

Se ha visto anteriormente que el potencial de un electrodo se calcula mediante la Ecuación de Nernst:

$$E = E_0 + \frac{RT}{nF} \ln c$$

dando a R y F sus valores correspondientes, operando a 25° C., y pasando a logaritmos decimales se tiene:

$$E = E_0 + \frac{0,059}{n} \log c$$

ecuación que permite calcular fácilmente los potenciales de los dos semielementos de una pila. El que resulte mayor (algebraicamente) hará de polo positivo al funcionar la pila (mayor potencial de reducción). Para hallar la f.e.m. de la pila bastará con calcular la diferencia: potencial de polo positivo (el de mayor E), donde tendrá lugar un proceso de reducción menos potencial del polo negativo (el de menor E), donde tendrá lugar un proceso de oxidación,

$$E = E_0 + \frac{0,059}{n} \log c \quad E' = E_0' + \frac{0,059}{n'} \log c'$$

por lo que:

$$\text{f.e.m.} = E_o - E_o' + \frac{0,059}{n} \log c - \frac{0,059}{n'} \log c'$$

La f.e.m. de una pila consta por lo tanto de dos términos: Uno de ellos la diferencia de potenciales normales  $E_o - E_o'$  y otro la diferencia entre dos términos logarítmicos denominado "término de concentraciones". Para que la f.e.m. sea grande es necesario que  $E_o$  sea muy positivo,  $E_o'$  muy negativo,  $c > 1$  y  $c' < 1$ , que coincide con la ya recogido en el estudio general de las pilas, como no podría ser de otro modo.

#### 1.8.4.3. Pilas de concentración

Son aquellas formadas por un mismo elemento en contacto con soluciones de diferente concentración de sus iones. Esto es, son pilas que únicamente aprovechan el término de concentraciones dado que para ellas  $E_o - E_o' = 0$ .

La f.e.m. de una pila de concentración viene dada por la expresión:

$$\text{f.e.m.} = \frac{0,059}{n} \log \frac{c}{c'}$$

En una pila de concentración, el electrodo colocado en la solución más concentrada es el positivo y el situado en la más diluida es el negativo: por ejemplo, un electrodo de plata en contacto con una solución concentrada de nitrato de plata y otro electrodo también de plata en contacto con una solución diluida de nitrato de plata.

#### 1.8.4.4. Acumuladores

Son sistemas capaces de transformar la energía eléctrica en energía química almacenada en sustancias que se obtienen en una reacción redox, y que luego, de una manera casi reversible, se transforman en las sustancias químicas iniciales, liberando en forma eléctrica la energía que recibieron. El más interesante es el conocido acumulador de plomo, pero por no ser de utilidad para los fines de este trabajo no se entra en su análisis.

#### 1.8.5. Electrodeposición de los metales

Al margen de los antecedentes chinos y romanos sobre la utilización de láminas de plata para producir espejos, que ya en el año 213 a.C. Arquímedes los utilizó como sistema de defensa durante la segunda Guerra Púnica frente a Cartago, los antecedentes más recientes de la electrodeposición de metales,

abreviadamente EDM, se remontan a los trabajos publicados por Brugnatelli<sup>211</sup> (1761-1818), que parece ser que fue el primero en señalar la reducción de los metales por la acción de una corriente eléctrica, en la misma época que Volta realizaba sus experimentos. Así nació la Electro-Metalurgia, como se llamó inicialmente. En 1835 Jacobi<sup>212</sup> describió algunas aplicaciones prácticas, en la misma época que se hizo popular la utilización de la plata alemana [aleación de níquel, cobre y zinc], hasta que en 1838 anunció que se podía aplicar la reducción del cobre a las necesidades de las artes y de la industria, recubriendo otros metales con cobre, bajo la denominación de *Galvanoplastia*<sup>213</sup>: proceso de recubrir un objeto metálico con una capa fina de otro metal. En 1936 se produjo el descubrimiento de la pila Daniel, ya comentada. En 1939, M. Spencer publica que ha recubierto medallas con cobre, que posteriormente recibiría la denominación de electrotipos o electro-medallas.

El procedimiento encontró diversas aplicaciones, particularmente al descubrirse que también pueden recibir recubrimientos metálicos materiales no conductores de la electricidad, a los que se aplicaba una capa de plumbagina (polvo de grafito natural) para hacerlos conductores. Este descubrimiento, atribuido en 1840 a M. Murray<sup>214</sup>, condujo posteriormente al proceso recubrir modelos de escayola con un recubrimiento de metal, constatándose sensibles mejoras cuando se trata previamente la escayola con productos que la hacen no porosa, extendiéndose después el procedimiento de recubrimientos de metal a modelos de cera y de resina<sup>215</sup>. De la Rue<sup>216</sup>, Profesor en Ginebra, utilizó el procedimiento galvánico para dorar objetos utilizando la corriente eléctrica, con lo que se abrió camino para abandonar el tóxico método del dorado por vía del sublimado de mercurio.

La puesta a punto de la dinamo, inventada por Faraday y mejorada por Antonio Pacinoti (1841-1912) primero y posteriormente por Zénobe Gramme (1826-1901) en 1870, abrieron el camino para la aplicación industrial del refinado del cobre a gran escala<sup>217</sup>.

---

<sup>211</sup> Brugnatelli, L.V. *Journal de Chimie de Van Moins*.1803. Pp. 357

<sup>212</sup> Jacobi, P. *Application de l'electromagnétismes*. Postsdam, 1835.

<sup>213</sup> Smee, M. *Galvanoplastie*. Ed. De Valicourt: Paris, 1849. Pp. 2.

<sup>214</sup> Fue galardonado con la medalla de plata de la Société des Arts por su contribución a la electro-metalurgia.

<sup>215</sup> Smee, M. *Galvanoplastie*. Ed. De Valicourt: Paris,1849. Pp. 4.

<sup>216</sup> La edición de 1860 de *l'Encyclopedie Roret* corrige el nombre de De la Rive, como aparece en la edición de 1949, por De la Rue, en la que se reproduce (Pp. 10) una publicación suya en el *Magasin philosophique pou l'année 1836*, en francés, cuya traducción literal es; [La placa de cobre se recubre también de una capa de cobre metálico que se deposita sin cesar; y esta capa de cobre que se forma es de una tal perfección, que, cuando se levanta, representa fielmente cada detalle de la placa sobre la que se ha depositado] .

<sup>217</sup> [Consulta: 16-8-2018]. Disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Dinamo\\_\(generador\\_eléctrico\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Dinamo_(generador_eléctrico)).

## 2. SITUACION ACTUAL DEL CONOCIMIENTO DE LA MATERIA

### 2.1. Modelos atómicos más recientes

En el **epígrafe 1** anterior se ha abordado, de modo resumido, los antecedentes sobre cómo se ha ido conformando el conocimiento sobre los átomos basados principalmente en la reflexión, sin recurrir a la experimentación. Para facilitar la comprensión del comportamiento de los átomos, sus propiedades y características se recogen en este **epígrafe 2** los modelos atómicos más modernos, formulados sobre bases científicas, que permiten llegar a conocer la estructura atómica actual de la materia, y establecer una metodología basada en la Tabla Periódica de los Elementos que permite inferir las principales propiedades de cada uno de ellos.

#### 2.1.1. Modelo de los cuantos de Planck

Max Planck (1858 - 1947), Premio Noble de Física en 1918, formuló en 1889 que las radiaciones electromagnéticas están constituidas por numerosas partículas elementales denominadas "cuantos de energía radiante" a las que más tarde Einstein llamó "fotones". Planck estableció la relación entre la energía de cada fotón con la frecuencia de la radiación clásica admitiendo que era proporcional a ésta:

$$E = h \nu$$

ecuación en la que  $h$  tiene un valor fijo ( $6,624 \times 10^{-27}$  ergios.seg.), conocido como constante de Plank.

Esta ecuación constituye la base fundamental de la teoría cuántica,

*“que fue extendida muy pronto por Einstein para poder explicar la emisión de electrones por la acción de la luz sobre los metales, fenómeno descubierto por [el físico alemán] Heinrich Hertz en 1887, conocido como efecto fotoeléctrico”<sup>218</sup>.*

En definitiva, las radiaciones electromagnéticas están constituidas por fotones tanto más energéticos conforme mayor es la energía de la radiación.

El "cuanto" o "fotón" es la menor cantidad de energía radiante que puede emitir o absorber la materia. Por lo tanto, la energía total de una radiación debe ser un múltiplo entero de la energía del cuanto elemental.

---

<sup>218</sup> Babor, J.A., Ibarz, J. Química General Moderna. Ed. Marín: Barcelona, 1964. Pp.173, ISBN: 8471029979.

### 2.1.2. Modelo de Bohr: Postulados

Niels Bohr (1885 – 1962), físico danés, obtuvo el Premio Nobel de Física en 1922 por sus contribuciones fundamentales para la comprensión de la estructura del átomo y la mecánica cuántica. Según Bohr, el átomo está formado por una partícula central muy pequeña, denominada núcleo, que es donde reside la casi totalidad de su masa y de su carga positiva. El número de cargas positivas del núcleo (protones) coincide con el número atómico del elemento (Z).

#### Primer postulado

En torno al núcleo giran los electrones, en un número suficiente (Z) para asegurar la neutralidad eléctrica del átomo, equilibrando con la fuerza centrífuga que desarrollan en su giro la atracción culombiana que les ofrece el núcleo. Figura 47.

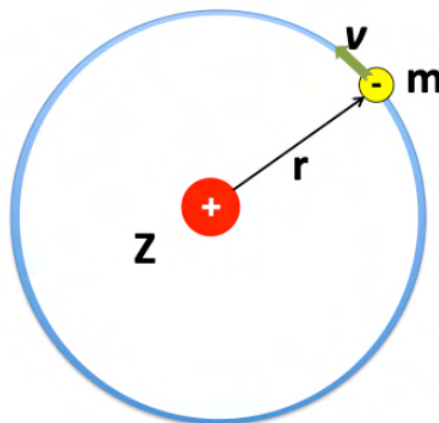


Figura 47. Movimiento del electrón

lo que matemáticamente se puede expresar mediante la fórmula:

$$\frac{Ze^2}{r^2} = \frac{mv^2}{r}$$

que constituye la expresión de su Primer postulado.

### Segundo Postulado

El electrón sólo puede ocupar aquellas órbitas en las que su 'acción' sea un múltiplo entero de la constante  $h$  de Planck, y mientras gira en esas órbitas permitidas no radia energía. Se trata de órbitas estacionarias.

Se denomina 'acción' de un movimiento periódico al producto de la cantidad de movimiento que posee un móvil por el espacio recorrido en un ciclo. Para un electrón que describe una órbita de radio  $r$  se verifica:

$$M \cdot v \cdot 2\pi \cdot r = n \cdot h$$

siendo  $n = 1, 2, 3, 4, \dots$

### Tercer postulado

Al saltar un electrón desde una órbita elevada donde posee una energía  $W_2$  a otra órbita inferior en la que posee una energía  $W_1$ , Figura 48, en el salto del electrón se emite la diferencia de energía en forma de radiación electromagnética:

$$W_2 - W_1 = h \cdot \nu$$

expresión que se conoce con el nombre de *Ley General de la Frecuencia*.

Puesto que los electrones en su estado fundamental estarán en su nivel de más baja energía, para lograr la emisión espectral será necesario comunicarles la energía suficiente ( $W_2 - W_1$ ) para que suban a la órbita superior y al caer de

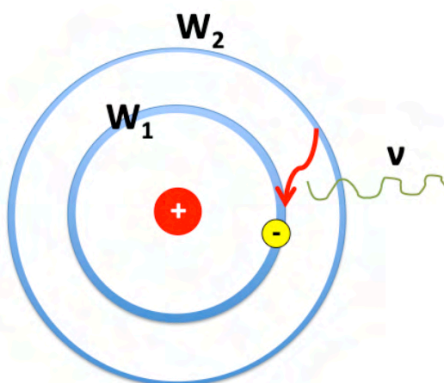


Figura 48. Esquema de transición del electrón

nuevo emitan la radiación. Esto es, hace falta excitar la materia para que se logre la emisión espectral (por medio de la llama, chispa, arco, etc.). Un átomo que tiene sus electrones en su nivel más bajo de energía posible se dice que está en su estado fundamental, mientras que si los posee en órbitas superiores (por excitación) con mayor energía se dice que está en un estado excitado. La emisión espectral tiene lugar al pasar un átomo desde un estado excitado a su estado fundamental o a otro estado de menor excitación (de menor energía).

Inversamente si se hace pasar un rayo de luz blanca a través de vapores de un elemento, al analizar la radiación emergente en un espectrógrafo, se observa que faltan en ella precisamente aquellas radiaciones que el elemento es capaz de emitir (espectro de absorción) lo que prueba que es posible el proceso inverso: el átomo absorbe energía radiante para pasar de su estado fundamental a un estado excitado.

Combinando las dos ecuaciones anteriores se llega a establecer el radio  $r$  de las órbitas electrónicas, resultando:

$$r = K \cdot n^2$$

donde  $K$  es una constante para cada elemento, con valor:

$$K = \frac{h^2}{4 \pi^2 Z e^2 m}$$

Para un determinado elemento ( $Z = \text{constante}$ ),  $K$  también será constante, resultando:

$$\begin{aligned} \text{para } n = 1 & \quad r_1 = K \\ n = 2 & \quad r_2 = 4K \\ n = 3 & \quad r_3 = 9K \end{aligned}$$

O sea, el radio de las órbitas posibles para el electrón crece proporcionalmente al cuadrado de los números enteros.

### Cálculo de la energía del electrón en una órbita.

La energía total del electrón en la órbita es la suma de su energía cinética  $W_c$  y de su energía potencial  $W_p$ :

$$W = W_c + W_p$$

Pudiéndose demostrar que:

$$W = - \frac{K}{n^2}$$

donde  $K$  es una contante para cada elemento, dependiente solo de su número atómico  $Z$  y  $n$  es e el número de orden del orbital. Figura 49.

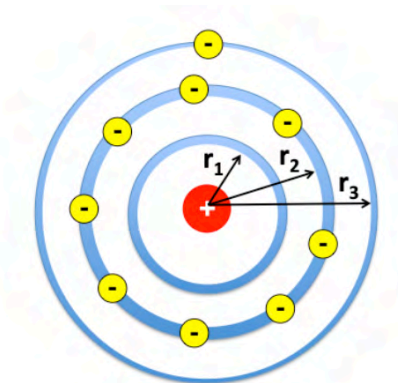


Figura 49. Esquema de las órbitas energéticas del electrón

El significado físico del signo negativo es evidente: al crecer  $n$  crece  $W$ . La energía del electrón en una órbita es tanto mayor cuanto más alejada está del núcleo.

En consecuencia, el modelo de Bohr permite calcular, en función del número de orden de la órbita, tanto el radio de la misma como la energía del electrón en ella, por lo que se denomina a  $n$  "**número cuántico principal**".

El modelo atómico de Bohr fue el primero capaz de interpretar las regularidades halladas en los espectros atómicos. El modelo de Bohr permite dar sentido físico a la fórmula de Balmer: puesto que  $n$  es el número cuántico principal de la órbita de salida del electrón y  $n+1$  es el número cuántico principal de la órbita de llegada, sin que el electrón pueda localizarse entre dos orbitas (por lo que están cuantizados), podemos saber entre qué órbitas ha de saltar un electrón para emitir una determinada radiación espectral. Todos los saltos electrónicos desde cualquier capa a la primera producirán rayas del espectro: desde la orbita  $n=1$  a  $n=2, 3..$  corresponde a la denominada serie Lyman, los saltos desde la órbita segunda ( $n=2$  a  $n=3, 4...$ ) producen radiaciones de la serie Balmer; desde la tercera ( $n=3$  a  $n=4, 5...$ ) corresponden a la serie Paschen. Figura 50.

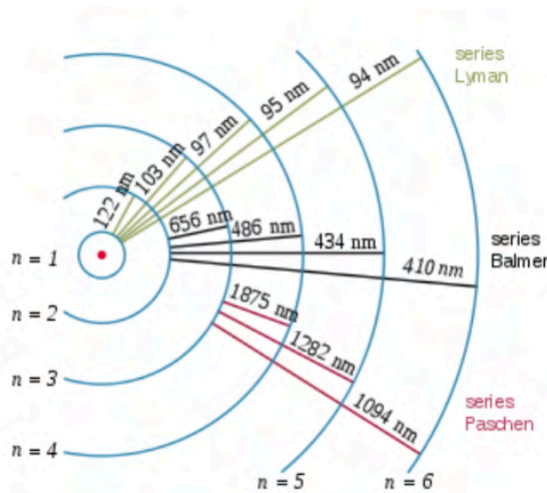


Figura 50. Esquema de emisiones espectrales del átomo de sodio

### Frecuencia emitida por un electrón en un salto

La energía que tiene un electrón en la órbita  $m^a$  valdrá  $W_m = -K/m^2$ ; y la energía que posee en la órbita  $n^a$  es  $W_n = -K/n^2$ . De acuerdo con el tercer postulado, la frecuencia de la radiación emitida en el salto  $m \rightarrow n$  viene dada por  $h \cdot \nu = W_m - W_n$ , esto es:

$$v = \frac{K'}{h} \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)$$

sustituyendo K' por su valor, y aplicándolo al caso del átomo de hidrógeno (Z = 1), resulta:

$$v = \frac{2\pi^2 e^4 m}{h^3} \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)$$

coincidente con la formulación de Balmer/ Rydberg anteriormente expuesta.

### 2.1.3. Modelo de Sommerfeld

#### Distribución de electrones en niveles de energía

El alemán Arnold Sommerfeld (1868-1951), además de sus numerosas aportaciones como científico en los campos de la física atómica y de la física cuántica, trabajó entre otras muchas materias sobre el modelo de Paul Drude<sup>219</sup> (1863- 1906) de los electrones en los metales, desarrollando una nueva teoría que resolvía muchos de los problemas no abordados anteriormente, prediciendo las propiedades térmicas de estos.

Sommerfeld admite que además de las órbitas circulares planas previstas por Bohr, en el átomo puedan existir órbitas elípticas. Figura 51. Para Sommerfeld la expresión [4] no proporciona el valor del radio de una órbita circular, sino el valor del semieje mayor (a) común a un paquete de órbitas de distinta excentricidad (de las que una de ellas será la circular de Bohr)

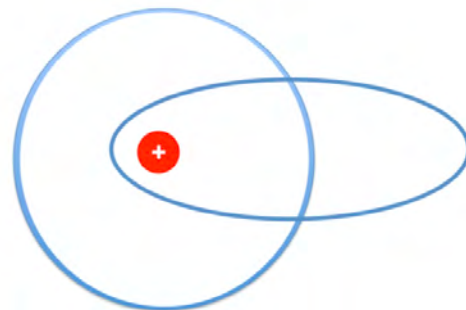


Figura 51. Esquema de orbitales

$$a = K \cdot n^2$$

Los valores del semieje menor de cada una de estas órbitas (que tienen el mismo valor de a) también están cuantizados según la expresión:

$$\frac{b}{a} = \frac{k}{n} \quad \text{o sea:} \quad b = a \cdot \frac{k}{n}$$

<sup>219</sup> Drude, P. Zur Elektronentheorie der Metalle . Annalen der Physik. 306 (3). Pp. 566-613. [Consulta: el 29-2-2018]. Disponible en: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/andp.19003060312/pdf>.

siendo  $k = 1, 2, 3, 4, \dots$  un número entero que se denomina “número cuántico secundario”, que no puede ser  $k > n$  (el semieje menor no puede ser más grande que el mayor), ni tampoco  $k = 0$ .

En este caso la órbita elíptica degeneraría en una recta (el electrón describiría una recta atravesando al núcleo). En las órbitas circulares el núcleo ocupa el centro, en las elípticas está situado en el foco.

El número de órbitas que se deducen en esta teoría son las siguientes:

$$\begin{array}{lll} \underline{n = 1} & a_1 = k & \\ k = 1 & b_1 = a_1 & \text{Órbita circular} \end{array}$$

$$\begin{array}{lll} \underline{n = 2} & a_2 = 4 \cdot k & \\ k = 2 & b_2 = a_2 & \text{Órbita circular} \\ k = 1 & b'_2 = \frac{1}{2} a_2 & \text{Órbita elíptica} \end{array}$$

$$\begin{array}{lll} \underline{n = 3} & a_3 = 9 \cdot k & \\ k = 3 & b_3 = a_3 & \text{Órbita circular} \\ k = 2 & b'_3 = \frac{2}{3} a_3 & \text{Órbita elíptica} \\ k = 1 & b''_3 = \frac{1}{3} a_3 & \text{Órbita elíptica} \end{array}$$

.....

La multiplicidad de órbitas en cada piso viene dada el valor de su “**número cuántico principal**”. Figura 52.

El momento de giro del electrón en la órbita será un vector  $M$  perpendicular a ella y cuyo sentido de giro depende del sentido de giro del electrón en la órbita (la conocida regla del sacacorchos). Sommerfeld calculó que:

$$M = I \cdot \frac{h}{2\pi}$$

siendo  $h$  la constante de Planck y  $I$  un número entero que podía tomar los valores  $1, 0, 1, 2, 3, 4, \dots, n-1$ , es decir, los mismos valores que  $k$  rebajados en una unidad. Este número  $I$  se denomina “**número cuántico azimutal**”. Tomando como unidad de momentos el valor  $h/2\pi$ , el módulo de  $M$  coincide con el valor de  $I$ .

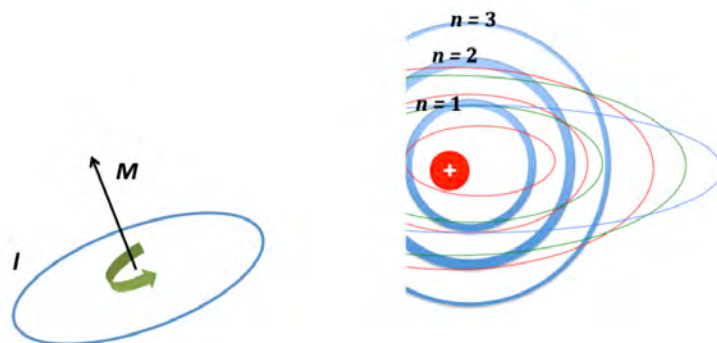


Figura 52. Esquema de las formas de los orbitales

El número cuántico azimutal  $l$  es un vector perpendicular al plano de la órbita y representa el momento de giro del electrón en ella.  
 Los valores del número cuántico azimutal que corresponde a cada órbita, teniendo en cuenta que  $l = k - 1$ , resultan:

<u><math>n = 1</math></u>			
$k = 1 \dots$	$l = 0$	órbita circular	(s)
<u><math>n = 2</math></u>			
$k = 1 \dots$	$l = 0$	1ª elipse	(s)
$k = 2 \dots$	$l = 1$	circular	(p)
<u><math>n = 3</math></u>			
$k = 1 \dots$	$l = 0$	2ª elipse	(s)
$k = 2 \dots$	$l = 1$	1ª elipse	(p)
$k = 3 \dots$	$l = 2$	circular	(d)
<u><math>n = 4</math></u>			
$k = 1 \dots$	$l = 0$	3ª elipse	(s)
$k = 2 \dots$	$l = 1$	2ª elipse	(p)
$k = 3 \dots$	$l = 2$	1ª elipse	(d)
$k = 4 \dots$	$l = 3$	circular	(f)

Cada valor de  $n$  define lo que se denomina un piso, capa o nivel.  
 Cada valor del  $l$  define un subpiso, subcapa o subnivel dentro de cada piso, capa o nivel (Figura 53):

- El subnivel  $l = 0$  se denomina también subnivel s [sharp]
- El subnivel  $l = 1$  se denomina también subnivel p [principal]
- El subnivel  $l = 2$  se denomina también subnivel d [diffuse]
- El subnivel  $l = 3$  se denomina también subnivel f [fundamental]

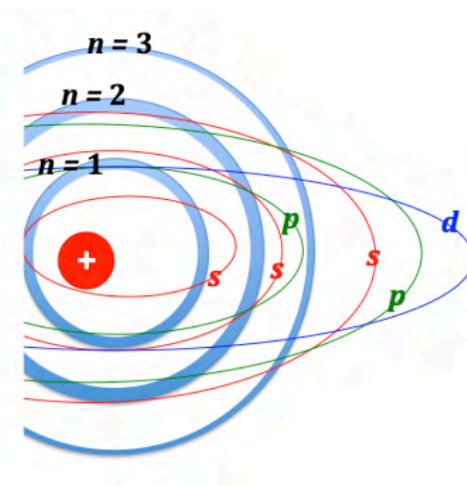


Figura 53. Esquema de los subniveles energéticos

Por tanto, para definir un subnivel se necesitan dos números cuánticos: el valor de  $n$  que define el piso en el que se halla y el valor de  $l$  (o la

letra correspondiente) que lo sitúa dentro del piso. Así se habla de subnivel 1s, 4p, etcétera.

El esquema anterior, que representa el número de capas y subcapas de un átomo, puede, con las notaciones anteriores, simbolizarse de la siguiente forma:

$$1s \ 2sp \ 3spd \ 4spdf$$

El número de electrones de cada subnivel se expresa en forma de exponente. Así si decimos que la estructura electrónica del nitrógeno es  $1s^2 2s^2 2p^3$ , queremos expresar que el átomo de nitrógeno tiene 7 electrones distribuidos de la siguiente forma: 2 en la órbita circular del primer piso, otros 2 en la órbita circular del segundo piso y 3 en la primera elipse del segundo piso.

### Orbita del electrón en el espacio

Para explicar el efecto Zeeman<sup>220</sup>, Sommerfeld se vió obligado a estudiar cuáles eran las posibles posiciones de la órbita en el espacio, llegando a la siguiente conclusión: La órbita solo puede ocupar aquellas posiciones en las que la proyección del vector  $l$  sobre una dirección exterior sea un número entero  $m$ . Figura 54.

Por consiguiente,  $m$  sólo puede tomar los valores

$$m = -l, \dots, -1, 0, 1, \dots, l$$

De la figura se deduce que:

$$\text{sen } \alpha = \frac{m}{l}$$

Este número  $m$  se denomina “**número cuántico magnético**”.

Por consiguiente, basta dar un valor a  $m$  ( $l$  conocido para cada órbita) para conocer su posición en el espacio:

Subnivel s.	$l=0$	$m=0$	$\text{sen } \alpha = 0$
Subnivel p.	$l=1$	$m=1$	$\text{sen } \alpha = 1$
		$m=0$	$\text{sen } \alpha = 0$
		$m=-1$	$\text{sen } \alpha = -1$

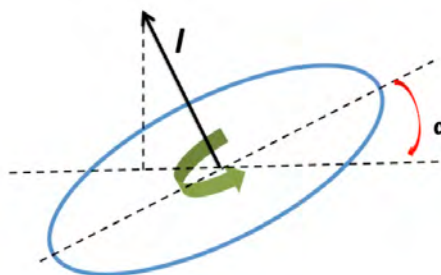


Figura 54. Esquema de posicionamiento espacial del electrón

<sup>220</sup> Pieter Zeeman (1865-1943), físico holandés. Premio Nobel de Física en 1902 por su investigación sobre los efectos del campo magnético sobre la radiación luminosa, que desdobra las rayas espectrales.

Subnivel d. $l = 2$	$m = 2$	$\text{sen } \alpha = 1$
	$m = 1$	$\text{sen } \alpha = 1/2$
	$m = 0$	$\text{sen } \alpha = 0$
	$m = -1$	$\text{sen } \alpha = -1/2$
	$m = -2$	$\text{sen } \alpha = -1$
Subnivel f. $l = 3$	$m = 3$	$\text{sen } \alpha = 1$
	$m = 2$	$\text{sen } \alpha = 2/3$
	$m = 1$	$\text{sen } \alpha = 1/3$
	$m = 0$	$\text{sen } \alpha = 0$
	$m = -1$	$\text{sen } \alpha = -1/3$
	$m = -2$	$\text{sen } \alpha = -2/3$
	$m = -3$	$\text{sen } \alpha = -1$

Cada una de órbitas de cada subnivel que, con el mismo semieje mayor y menor, poseen distinta orientación en el espacio se denominan orbitales. Así: el subnivel s tiene un orbital; el subnivel p tiene tres orbitales; el subnivel d tiene cinco orbitales; el subnivel f tiene siete orbitales.

Es evidente que para definir un orbital hacen falta tres números cuánticos ( $n$ ,  $l$ ,  $m$ ).

### Spin del electrón

El electrón (como los planetas) aparte de girar en torno al núcleo, gira también sobre su propio eje. Figura 55. Este giro del electrón sobre su eje se denomina *spin* (giro en inglés). El momento de giro del electrón sobre su eje es un vector

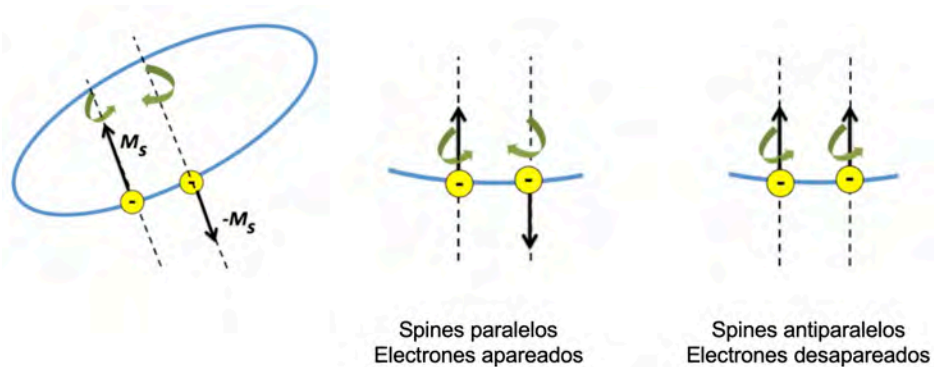


Figura 55. Esquemas del spin de los electrones

que coincide con el eje de giro y cuyo sentido depende del sentido de giro del electrón ( $M_s$ ).

El valor de  $M_s$  fue calculado por George E. Uhlenbeck (1900-1988) y Samuel A. Goudsmit (1902-1978), por lo que fueron galardonados con la Medalla Max Planck en 1964. El valor de  $M_s$  resulta ser:

$$M_s = s \frac{h}{2} \quad \text{donde} \quad s = \pm \frac{1}{2}$$

que adoptando como unidad de momentos  $h/2$ , resulta  $M_s = \pm s$ .

El número  $s$  que define el sentido de giro del electrón sobre su eje se denomina “**número cuántico de spin**”.

El electrón al girar crea un campo magnético comportándose como un pequeño imán. Dos electrones que tengan el mismo spin (el mismo sentido de giro) se comportan como dos pequeños imanes que se repelen. Se dice entonces que estos electrones tienen spines paralelos y que los dos electrones están desapareados.

Dos electrones con distinto spin (diferente sentido de giro) se comportan como dos pequeños imanes que se acoplan. Se dice en este caso que tienen spines antiparalelos y que los dos electrones están apareados.

## 2.1.4. Principio de exclusión de Pauli y Reglas de Borh y Bury

### 2.1.4.1. Principio de exclusión de Pauli

Las ideas anteriores se completan con el enunciado del llamado principio de exclusión de Pauli, que manifiesta que solamente puede explicarse la disposición del sistema periódico suponiendo que en un mismo átomo *no puede haber un electrón que tenga los cuatro números cuánticos iguales*. Estos números cuánticos no pueden tomar valores cualesquiera, sino que tienen que cumplir determinadas condiciones; así el **numero cuántico principal,  $n$** , toma los valores enteros 1, 2, 3...2, 3... ; el del **número cuántico secundario  $k$** , es, al menos, una unidad inferior que  $n$  y toma, según esto, los valores  $n-1$ ,  $n-2$ ..., 2, 1, 0; el **número cuántico azimutal  $l$**  puede tomar los valores comprendidos entre  $+k$  y  $-k$ , o sea,  $+k$ ,  $+(k-1)$ ; ...0...,  $-(k-1)$ ,  $-k$  y por último el **número cuántico de spin,  $s$** , solamente puede tomar los valores  $+\frac{1}{2}$  y  $-\frac{1}{2}$ . Mediante la combinación de estos cuatro números cuánticos se obtiene una estructura electrónica viable.

En otras palabras: el principio de exclusión de Pauli establece una correspondencia biunívoca entre los electrones de un átomo y los valores que pueden tomar la cuaterna de números cuánticos ( $n - k - l - s$ ).

### 2.1.4.2. Reglas de Borh y Bury

#### Número de electrones que caben en un orbital

Un orbital está definido por los valores ( $n - l - m$ ) de sus tres primeros números cuánticos. Todo electrón situado en un determinado orbital ya tiene fijados los valores ( $n - l - m$ ) de tres números cuánticos. Por tanto, de acuerdo con el

principio de exclusión de Pauli: en un orbital sólo puede haber dos electrones y éstos tendrán spines contrarios, esto es, se encontrarán apareados.

### Número máximo de electrones en un subnivel

El subnivel **s** dispone de un orbital: admitirá, pues, dos electrones como máximo.

El subnivel **p** dispone de tres orbitales, por lo que admitirá seis electrones como máximo.

El subnivel **d** tiene cinco orbitales: admitirá diez electrones como máximo.

El subnivel **f** contiene siete orbitales: admite catorce electrones.

### Número máximo de electrones en cada piso

Según lo dicho anteriormente, el número máximo de electrones por capa piso será:

$$\frac{1 s^2}{2} \quad \frac{2 s^2 p^6}{8} \quad \frac{3 s^2 p^6 d^{10}}{18} \quad \frac{4 s^2 p^6 d^{10} f^{14}}{32} \quad \dots \quad \mathbf{Z = 2 n^2}$$

Este escalonamiento se ajusta al de una serie de sucesivos cuadrados multiplicados por 2 (por ejemplo, 2 x 1, 2 x 4, 2 x 9, 2 x 16, etc.), es decir, *el número máximo de electrones en cada nivel de energía es el doble del cuadrado del número cuántico principal que lo determina*. Este fue el primer postulado de la conocida como Reglas de Borh y Bury, publicada en 1921.

Los electrones en un átomo no se colocan siguiendo el orden geométrico en el que están dispuestos sus subniveles, sino en orden energético, esto es, llenando primero el nivel de más baja energía y sucesivamente los demás por orden creciente de energía. Este orden energético no coincide siempre con el orden geométrico, a veces se llena un subnivel de la capa **n** sin estar completo el nivel **n-1**.

Prácticamente se da la siguiente regla: se llenan las órbitas por orden creciente de la suma de los números cuánticos **n+l**. Para dos órbitas de igual valor en la suma **n+l** se llena primero la de menor **n**.

En la Tabla 7 se han representado los valores posibles de la suma de los dos primeros números cuánticos y el orden energético en el que se van acoplado los electrones en las orbitas de los átomos, lo que puede presentarse mediante el esquema que se adjunta.

Dos reglas complementarias permiten completar el orden en que se llenan los subniveles:

- 1ª. La estructura  $(n - 1) d^9 n s^2$  es menos estable que la estructura  $(n - 1) d^{10} n s$

2ª. Al empezar a llenar un subnivel *f* de la capa *n* se coloca antes un electrón en el subnivel *d* de la capa *n + 1*, y no se continúa llenando éste hasta que no se ha completado el subnivel *f*.

SUBNIVEL	Número <i>n</i>	Número <i>l</i>	Suma <i>n + l</i>	Orden de llenado
1s	1	0	1	1
2s	2	0	2	2
2p	2	1	3	3
3s	3	0	3	4
3p	3	1	4	5
3d	3	2	5	7
4s	4	0	4	6
4p	4	1	5	8
4d	4	2	6	10
4f	4	3	7	13
5s	5	0	5	9
5p	5	1	6	11
5d	5	2	7	14
5f	5	3	8	17
6s	6	0	6	12
6p	6	1	7	15
6d	6	2	8	18
6f	6	3	9	20
7s	7	0	7	16
7p	7	1	8	19
7d	7	2	9	21
7f	7	3	10	22

ORDEN	<i>f</i>	<i>d</i>	<i>p</i>	<i>s</i>
1ª	→			1s
2ª	→			2s
3ª	→		2p	3s
4ª	→		3p	4s
5ª	→	3d	4p	5s
6ª	→	4d	5p	6s
7ª	→ 4f	5d	6p	7s
8ª	→ 5f	6d	7p	
9ª	→ 6f	7d		
10ª	→ 7f			

Tabla 7. Orden de llenado de los electrones en el átomo

### 2.1.5. Configuración electrónica de los elementos.

Una de las metodologías para deducir la configuración electrónica de todos los elementos de la Tabla Periódica, imprescindible para deducir las principales características de los elementos químicos, se basa en las siguientes siete reglas de sencilla aplicación:

**Regla Primera.** El número de capas electrónicas que posee un átomo coincide con el del Periodo al que pertenece el elemento en el sistema Periódico. En consecuencia, los elementos tienen un número de capas comprendido entre 1 y 7.

**Regla Segunda.** Salvo el H (1s) y el He (1s<sup>2</sup>), todos los demás elementos tienen la estructura s<sup>2</sup> en la primera capa y s<sup>2</sup>p<sup>6</sup> en todas las restantes, excepto en la última.

**Regla Tercera.** Número de electrones de la última capa:

- Para los gases nobles: s<sup>2</sup>p<sup>6</sup> (excepto el He, que es 1s<sup>2</sup>).
- Para los elementos de transición: s<sup>2</sup>
- Para los demás elementos: coincide con el número de la columna a la que pertenece el elemento en el sistema Periódico.

**Regla Cuarta.** Cada vez que se atraviesa "íntegramente" la serie de elementos de transición perteneciente al periodo  $n$ , se coloca  $d^{10}$  en la capa  $n-1$ .

**Regla Quinta.** Cada vez que se atraviesa "íntegramente" la casilla del La con sus 14 elementos de tierras raras, se coloca  $f^{14}$  en la capa cuarta.

**Regla Sexta.** Los elementos de transición tienen  $s^2$  en la última capa y en la penúltima tantos electrones "d" como indica el número de orden que ellos hacen dentro de la serie de transición a la que pertenecen.

**Regla Séptima.** Los elementos de las tierras raras presentan la estructura  $s^2$  en la última capa,  $s^2 p^6 d$  en la penúltima y en la antepenúltima poseen tantos electrones "f" como indica el número de orden que hace el elemento dentro de su pléyade.

Como ejemplos prácticos de aplicación de estas reglas, se formulan en la Tabla 8 la configuración electrónica de los elementos más relacionados con este trabajo de investigación. Se han incluido también los gases nobles como referencia de configuración estable.

Como comprobación de su correcta aplicación, basta con hacer la suma de electrones de cada elemento, que debe coincidir con el número atómico ( $Z$ ) que aparece en la Tabla Periódica.

La utilidad fundamental que ahora interesa resaltar es la estructura de todos los subniveles, y en particular del más externo, el cortical, porque es el que aporta la información sobre la valencia -es decir- el número de electrones que van a intervenir en los compuestos químicos, como veremos a continuación.

ELEMENTO	NUMERO ATOMICO (Z)	SIMBOLO	PESO ATOMICO	CONFIGURACION ELECTRONICA
Hidrógeno	1	H	1,01	1s <sup>1</sup>
Helio	2	He	4,00	1s <sup>2</sup>
Litio	3	Li	6,94	1s <sup>2</sup> 2s <sup>1</sup>
Berilio	4	Be	9,01	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup>
Boro	5	B	10,81	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> p <sup>1</sup>
Carbono	6	C	12,01	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> p <sup>2</sup>
Nitrógeno	7	N	14,01	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> p <sup>3</sup>
Oxígeno	8	O	16,00	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> p <sup>4</sup>
Fluor	9	F	19,00	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> p <sup>5</sup>
Neón	10	Ne	20,18	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> p <sup>6</sup>
Sodio	11	Na	22,99	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> 3s <sup>1</sup>
Magnesio	12	Mg	24,31	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> 3s <sup>2</sup>
Aluminio	13	Al	26,98	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> 3s <sup>2</sup> p <sup>1</sup>
Silicio	14	Si	28,09	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> 3s <sup>2</sup> p <sup>2</sup>
Fosforo	15	P	30,97	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> 3s <sup>2</sup> p <sup>3</sup>
Azufre	16	S	32,06	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> 3s <sup>2</sup> p <sup>4</sup>
Cloro	17	Cl	35,45	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> 3s <sup>2</sup> p <sup>5</sup>
Argón	18	Ar	39,95	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> 3s <sup>2</sup> p <sup>6</sup>
Potasio	19	K	39,10	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> 3s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> 4s <sup>1</sup>
Calcio	20	Ca	40,08	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> 3s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> 4s <sup>2</sup>
Titanio	22	Ti	47,90	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> 3s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> d <sup>2</sup> 4s <sup>2</sup>
Cromo	24	Cr	52,00	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> 3s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> d <sup>5</sup> 4s <sup>1</sup>
Manganeso	25	Mn	54,94	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> 3s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> d <sup>5</sup> 4s <sup>2</sup>
Hierro	26	Fe	55,85	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> 3s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> d <sup>6</sup> 4s <sup>2</sup>
Cobalto	27	Co	58,93	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> 3s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> d <sup>8</sup> 4s <sup>1</sup>
Niquel	28	Ni	58,71	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> 3s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> d <sup>8</sup> 4s <sup>2</sup>
Cobre	29	Cu	63,54	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> 3s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> d <sup>10</sup> 4s <sup>1</sup>
Zinc	30	Zn	65,37	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> 3s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup>
Arsénico	33	As	74,92	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> 3s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> p <sup>3</sup>
Selenio	34	Se	78,96	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> 3s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> p <sup>4</sup>
Bromo	35	Br	79,91	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> 3s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> p <sup>5</sup>
Kriptón	36	Kr	83,80	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> 3s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> p <sup>6</sup>
Estroncio	38	Sr	87,62	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> 3s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> 5s <sup>2</sup>
Zirconio	40	Zr	91,22	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> 3s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> d <sup>2</sup> 5s <sup>2</sup>
Molibdeno	42	Mo	95,94	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> 3s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> d <sup>5</sup> 5s <sup>1</sup>
Plata	47	Ag	107,87	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> 3s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> d <sup>10</sup> 5s <sup>1</sup>
Cadmio	48	Cd	112,40	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> 3s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup>
Estaño	50	Sn	118,69	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> 3s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup> p <sup>2</sup>
Antimonio	51	Sb	121,75	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> 3s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup> p <sup>3</sup>
Iodo	53	I	126,90	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> 3s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup> p <sup>5</sup>
Xenón	54	Xe	131,30	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> 3s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup> p <sup>6</sup>
Bario	56	Ba	137,34	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> 3s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> 6s <sup>2</sup>
Cerio	58	Ce	140,12	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> 3s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> d <sup>2</sup> 6s <sup>2</sup>
Wolframio	74	W	183,85	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> 3s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> d <sup>10</sup> f <sup>4</sup> 5s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> d <sup>4</sup> 6s <sup>2</sup>
Platino	78	Pt	195,09	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> 3s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> d <sup>10</sup> f <sup>4</sup> 5s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> d <sup>9</sup> 6s <sup>1</sup>
Oro	79	Au	196,97	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> 3s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> d <sup>10</sup> f <sup>4</sup> 5s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> d <sup>10</sup> 6s
Mercurio	80	Hg	200,59	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> 3s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> d <sup>10</sup> f <sup>4</sup> 5s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> d <sup>10</sup> 6s <sup>2</sup>
Plomo	82	Pb	207,19	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> 3s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> d <sup>10</sup> f <sup>4</sup> 5s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> d <sup>10</sup> 6s <sup>2</sup> p <sup>2</sup>
Bismuto	83	Bi	208,98	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> 3s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> d <sup>10</sup> f <sup>4</sup> 5s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> d <sup>10</sup> 6s <sup>2</sup> p <sup>3</sup>
Radón	86	Rn	222,00	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> 3s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> d <sup>10</sup> f <sup>4</sup> 5s <sup>2</sup> p <sup>6</sup> d <sup>10</sup> 6s <sup>2</sup> p <sup>6</sup>

Tabla 8. Configuración electrónica de algunos elementos

## 2.2. Propiedades de los elementos químicos

Puesto que el número de capas electrónicas que posee un átomo coincide con el del periodo al que pertenece, es evidente que el volumen (y, por tanto, el radio) de los átomos crece al descender en una columna del Sistema Periódico. Figura 56.

Por ejemplo:

$$r_{\text{Li}} < r_{\text{Na}} < r_{\text{K}} < r_{\text{Rb}} < r_{\text{Cs}} < r_{\text{Fr}}$$

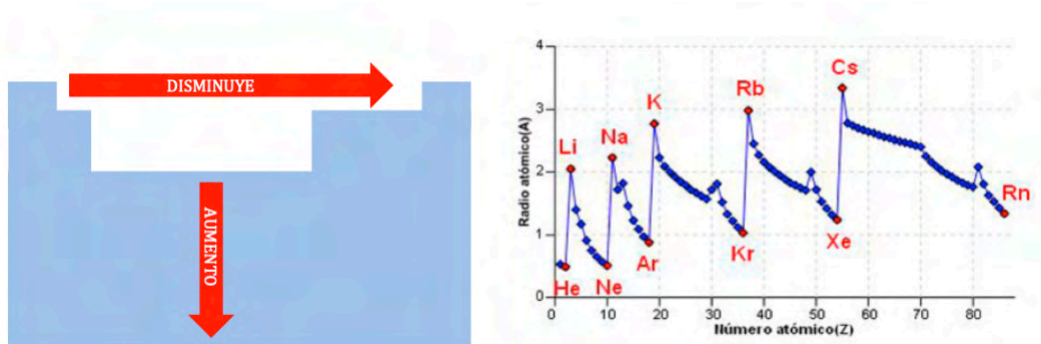


Figura 56. Variación del radio atómico según Periodo y Grupo

A lo largo de un periodo el radio debería permanecer constante y tener idéntico número de capas. Sin embargo, podemos considerar a un átomo constituido por  $v$  electrones de valencia en la última capa ( $n$ ) y el conjunto [núcleo+( $n-1$ ) capas] como un "pseudonúcleo" con carga positiva  $Z-v$ . En este caso, al desplazarnos de izquierda a centro de un periodo, crece la carga del "pseudonúcleo" y los electrones de la última capa son atraídos con más fuerza (el volumen disminuye). A partir del centro del periodo, los electrones de la última capa van siendo muy numerosos (estarán más próximos entre sí) y se repelen impidiendo que siga contrayéndose el volumen. Desde el centro a la derecha, cada vez que agreguemos un nuevo electrón crece el volumen del átomo por repulsión entre sus electrones corticales, ya muy numerosos. Por lo tanto, dentro de un periodo el volumen de los átomos es máximo en los extremos y pasa por un mínimo en el centro del periodo.

Si una sustancia está formada por átomos que tienen sus electrones todos apareados, el momento de spin total es nulo y estos átomos no se orientarán en direcciones privilegiadas al colocar la sustancia en el seno de un campo magnético: Se tratará de sustancias diamagnéticas. Si, por el contrario, los átomos poseen electrones desapareados, éstos se orientarán en la dirección del campo: serán sustancias paramagnéticas.

De todas las estructuras electrónicas, la más estable es la  $s^2p^6$  correspondiente a un gas noble. A esta estructura es imposible añadir nuevos electrones: tendrían que situarse en un nivel superior, lo que supone un considerable aumento de energía, dando un ion negativo muy inestable. Tampoco se le pueden arrancar electrones, puesto que, dado lo estable que es la estructura  $s^2 p^6$  se necesitaría un consumo de

energía elevado, dando un ion positivo muy inestable. Por consiguiente, los gases nobles son nulivalentes.

Dado que será difícil el desplazamiento de electrones en estas estructuras no se darán en las condiciones ambientes saltos electrónicos; por tanto, los gases nobles serán incoloros. Aplicando suficiente energía, por ejemplo, en los tubos luminosos se consigue realizar transiciones electrónicas, apareciendo el espectro característico de cada gas noble. Y puesto que la estructura  $s^2p^6$  posee todos sus electrones apareados, los gases nobles serán diamagnéticos. Los demás elementos químicos presentan una marcada tendencia a adquirir la estructura  $s^2p^6$  más estable que la que ellos poseen.

Dado que más del 80% de los elementos químicos son metales, sus propiedades van a depender de su posicionamiento en la Tabla Periódica, por lo que deben analizarse por grupos que tengan similar estructura atómica, particularmente en sus niveles exteriores.

El proceso de formación de un ión positivo, habitualmente en los elementos metálicos, consume energía, puesto que hay que arrancar un electrón al átomo neutro y este electrón estará ligado al núcleo con una cierta fuerza de atracción.



Se conoce como primer potencial de ionización la cantidad de energía necesaria para arrancar un electrón a un átomo neutro en estado gaseoso, formándose un ion positivo o catión:



Evidentemente un ion positivo será tanto más estable cuanto menor sea su potencial de ionización, esto es, cuanto más fácilmente se le pueda formar. Dado que el radio de los átomos crece al descender en una columna del sistema periódico:

$$r_{\text{Li}} < r_{\text{Na}} < r_{\text{K}} < r_{\text{Rb}} < r_{\text{Cs}} < r_{\text{Fr}}$$

el electrón que debemos arrancar para formar el ion positivo estará cada vez más lejos del núcleo y saldrá más fácilmente. La Tabla 9<sup>221</sup> muestra valores del potencial de ionización del primer electrón, del segundo y así sucesivamente, pudiendo observarse como aumenta la cantidad de energía requerida a medida que se van sacando electrones por la mayor atracción que ejerce el núcleo a los electrones que le quedan. Cada electrón que se elimine hace disminuir el radio del ion resultante precisamente por esta mayor atracción del núcleo, con lo que se dificulta enormemente las sucesivas salidas de electrones.

---

<sup>221</sup> Latimer, W.M. *The Oxidation States of the Elements and their Potentials in Aqueous Solutions*. Prentice-Hall, Inc.: New York. 1938. Pp. 14. [Consulta 10-02-2018]. Disponible en: <https://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=mdp.39015078691154;view=1up;seq=9>.

Unidad: kJ/mol

Número atómico (Z)	Símbolo	1º e <sup>-</sup>	2º e <sup>-</sup>	3º e <sup>-</sup>	4º e <sup>-</sup>	5º e <sup>-</sup>
1	H	13,1				
2	He	23,7	52,5			
3	Li	5,2	73,0	118,1		
4	Be	9,0	17,6	148,4	210,0	
5	B	8,0	24,3	36,6	250,2	328,2
6	C	10,9	23,5	46,2	62,2	378,2
7	N	14,0	28,6	45,8	74,7	94,4
8	O	13,1	33,9	53,0	74,7	109,9
9	F	16,8	33,7	60,4	84,2	110,2
10	Ne	20,8	39,6	61,7	93,7	122,0
11	Na	5,0	45,6	69,1	95,4	133,7
12	Mg	7,4	14,5	77,3	105,4	136,3
13	Al	5,8	18,2	27,4	115,7	148,4
14	Si	7,9	15,8	32,3	43,5	160,9
15	P	10,6	19,0	29,1	49,5	62,7
16	S	10,0	22,6	33,8	45,6	70,0
17	Cl	12,6	23,0	38,5	51,6	65,4
18	Ar	15,2	26,6	39,5	57,7	72,4
19	K	4,2	30,7	44,4	58,8	0,0
20	Ca	5,9	11,5	49,4	64,6	81,4
21	SC	6,3	12,4	23,9	71,3	88,8
22	Ti	6,6	13,2	27,2	41,7	96,3

Tabla 9. Potencial de ionización de algunos elementos

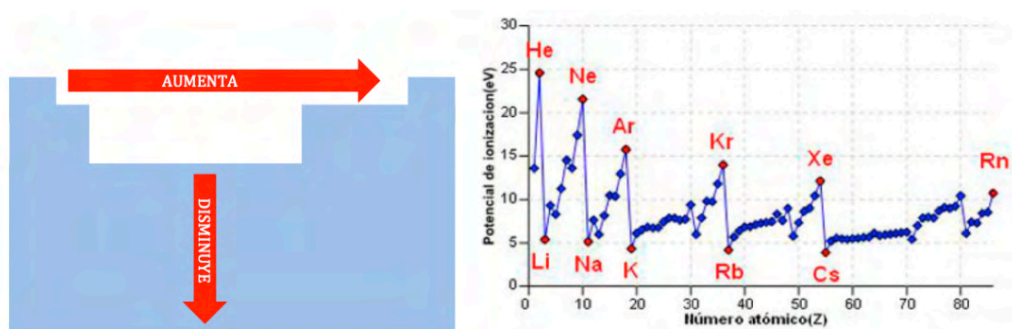


Figura 57. Variación del potencial de ionización según Periodo y Grupo

El potencial de ionización disminuye al descender en una columna del Sistema Periódico, como puede observarse en la Figura 57.

Si pretendiéramos destruir el ion negativo arrancándole el electrón que tiene de más, puesto que éste se encuentra ligado al núcleo como los restantes electrones, sería necesario consumir una determinada energía  $A$ :



Esta energía ( $A$ ) se denomina **afinidad electrónica**: *Es la energía desprendida cuando un átomo gaseoso en su estado fundamental capta un electrón libre para formar un ion negativo*. Evidentemente, al aumentar el volumen de los átomos, disminuye la afinidad electrónica (porque los electrones periféricos estarán más alejados de sus núcleos). La afinidad electrónica pues, disminuye al descender en una columna del Sistema Periódico.

Un ion negativo será tanto más estable cuanto más elevada sea su afinidad electrónica (costará más destruir el ion). Por tanto, la estabilidad de un ion negativo decrece al descender en una columna del Sistema Periódico. Se trata, en consecuencia, del proceso inverso al de formación de un catión anteriormente tratado. Por tanto, la afinidad electrónica disminuye al bajar en un grupo y aumenta a medida que se recorre un periodo. Figura 58.

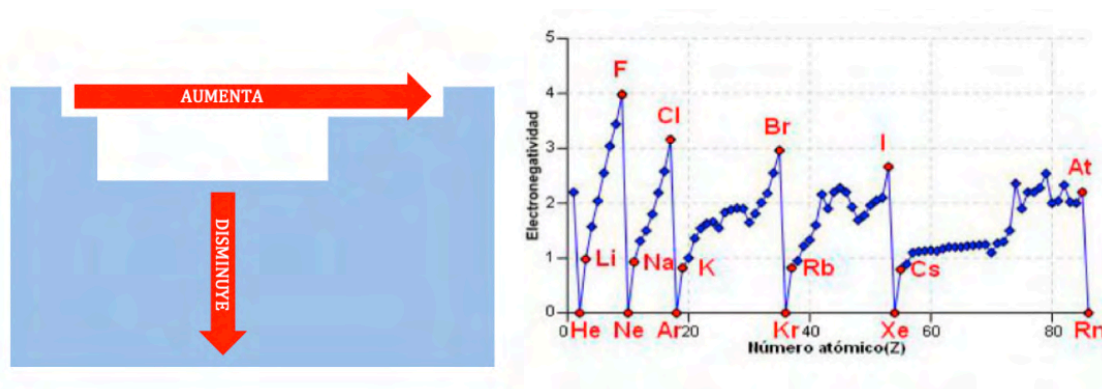


Figura 58. Variación de la afinidad electrónica según periodo y grupo

Pauling<sup>222</sup> estableció en 1932 una escala adimensional de la Electronegatividad para evaluar la atracción que un átomo ejerce sobre un par de electrones compartidos (enlace) con otro átomo dentro de una molécula. Para ello se basó en el concepto de Afinidad Electrónica del átomo de los elementos, pero definida de modo arbitrario fijando el valor 4 para el elemento con mayor Afinidad Electrónica, el Flúor, y 0,7 para el elemento de menor Afinidad, el Francio. Figura 59. Pauling estableció con esta diferencia  $\Delta$  de Electronegatividades el tipo de enlace que se forman en las moléculas:

<sup>222</sup> Pauling, L. *The Nature of the Chemical Bond. IV. The Energy of Single Bonds and the Relative Electronegativity of Atoms*. Journal of the American Chemical Society 54 (9), 1932: Pp. 3570-3582. Premio Nobel de Química en 1954 por sus investigaciones sobre la naturaleza de los enlaces químicos basados en la teoría atómica. También recibió el Premio Nobel de la Paz en 1962.

Covalente apolar:  $\Delta \leq 0.4$   
 Covalente polar:  $0.5 \leq \Delta \leq 1.6$   
 Iónico:  $1.7 \leq \Delta$



Figura 59. Tabla Periódica de la electronegatividad en la escala Pauling

Con posterioridad, en 1934, Mulliken desarrolló una escala aplicable a los átomos, que no a moléculas, promediando los valores del *Potencial de Ionización* y de la *Afinidad Electrónica* de cada elemento del sistema periódico, es decir, calculando el valor promedio de las energías necesarias de un átomo determinado para perder y para ganar un electrón. Tabla 10.

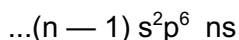
Unidad: kJ/mol

Al 1,5	Ar----	As 2,26	B 1,83	Be 1,99	Br 3,24	C 2,67	Ca 1,30	Cl 3,54	F 4,42	Ga 1,34
Ge 1,95	H 3,06	I 2,88	In 1,30	K 1,03	Kr 2,98	Li 1,28	Mg 1,63	N 3,08	Na 1,21	Ne 4,60
O 3,21	P 2,39	Rb 0,99	S 2,65	Sb 2,06	Se 2,51	Si 2,03	Sn 1,83	Sr 1,21	Te 2,34	Xe 2,59

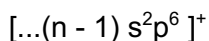
Tabla 10. Escala Mulliken

### 2.2.1. Metales de la columna 1 A. (Li, Na, K, Rb, Cs y Fr)

Se denominan metales alcalinos, y poseen la configuración electrónica general:



ésta no es una configuración electrónica estable. Para llegar a ella se le brindan dos soluciones: 1º. Perder un electrón para quedar al descubierto con la configuración  $s^2 p^6$  de gas noble en la penúltima capa. 2º. Ganar los siete electrones que precisa la última capa para adquirir dicha configuración. De estas dos soluciones energéticamente es más favorable la primera, por lo que estos elementos perderán fácilmente el último electrón, quedando con la estructura:



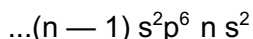
correspondiente a un ion monovalente positivo ( $\text{Li}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  ..... ). El ion posee una configuración electrónica más estable que el átomo libre, por eso en la naturaleza no existe libres el Li, Na, K..., sino que se encuentran en forma de compuestos que lo contienen en forma iónica. Si en épocas geológicas remotas existió el elemento libre, fue evolucionando a lo largo de su geoquímica hasta convertirse en la forma iónica bajo la cual aparece ahora.

Estos elementos no podrán tener valencia superior a uno. Sería preciso para ello arrancar electrones de una capa de gas noble. Dado que la estructura de estos iones es la  $s^2 p^6$  de gas noble, serán incoloros y diamagnéticos.

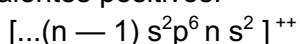
Son metales ligeros, que en el caso de Cesio y el Francio son líquidos en condiciones normales. Todos ellos forman sales solubles en agua.

### 2.2.2. Metales de la columna 2 A. (Be, Mg, Ca, Sr, Ba y Ra)

Se denominan metales alcalinotérreos y poseen la estructura electrónica general:



para adquirir la configuración electrónica estable de un gas noble es más fácil (energéticamente) perder los dos electrones periféricos que no ganar seis. Se convertirán así, en iones divalentes positivos:



con estructura de gas noble. El ion será estructuralmente más estable que el átomo neutro, por eso estos elementos no aparecen libres en la naturaleza, sino al estado de iones. El ion será incoloro y diamagnético. Estos elementos no tienen valencia superior a dos porque sería preciso arrancar electrones de una capa de gas noble. Tampoco presentan valencia 1 porque los dos electrones  $s$  están apareados por sus spins contrarios, y al pretender arrancar uno de ellos, es arrastrado el otro unido magnéticamente con él.

En este caso se cumple también:

$$r_{\text{Be}} < r_{\text{Mg}} < r_{\text{Ca}} < \dots\dots$$

y el potencial de ionización decrecerá al descender en la columna, siendo, por tanto, mayor la estabilidad del ion conforme se desciende en ella. Si comparamos el potencial de ionización de elementos de un mismo periodo (Li/Be) (Na/Mg) (K/Ca) es evidente que será tanto más elevado cuanto mayor sea el número de electrones que sea necesario arrancar:

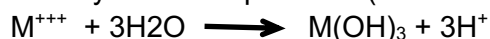
$$W_{\text{Na}^+} < W_{\text{Mg}^{++}} < W_{\text{Al}^{+++}} < \dots\dots$$

esto es: el potencial de ionización crece con la valencia del ion y, por tanto, un ion positivo será tanto más inestable cuanto más elevada sea su valencia electroquímica.

De otra parte, un ion positivo de elevada valencia no puede permanecer estable en solución acuosa:



porque su carga positiva atrae al oxidrilo del agua y repele al protón, convirtiéndose en hidróxido y liberando protones (hidrólisis):



La tendencia que presenta un ion a hidrolizarse en solución acuosa es tanto más elevada cuanto mayor es su valencia. Todas sus sales son incoloras y solubles en agua excepto los fluoruros, fosfatos, arseniatos, carbonatos y silicatos.

### 2.2.3. Metales de transición: Columnas 1B, 3B a 8B.

Poseen la estructura:

	<u><math>n - 1</math></u>	<u><math>n</math></u>
Sc - Y - La - Ac	$s^2 p^6 d$	$s^2$
Ti - Zr - Hf	$s^2 p^6 d^2$	$s^2$
V - Nb - Ta	$s^2 p^6 d^3$	$s^2$
Cr - Mo - W	$s^2 p^6 d^4$	$s^2$
Mn - Tc - Re	$s^2 p^6 d^5$	$s^2$
Fe - Ru - Cs	$s^2 p^6 d^6$	$s^2$
Co - Rh - Ir	$s^2 p^6 d^7$	$s^2$
Ni - Pd - Pt	$s^2 p^6 d^8$	$s^2$

Como todos tienen dos electrones en la última capa, tendrán como valencia fundamental 2, si bien dado que la estructura estable de gas noble es  $s^2 p^6$ , pueden tener polivalencia en función del número de electrones existente en el subnivel d. Así, por ejemplo, las valencias máximas de Sc (3), Ti (4), V (5), Cr (6), Mn (7) ....

Las frecuencias emitidas cuando un electrón salta entre subniveles s - p, ó p-p son elevadas, por lo que caen en la región del ultravioleta. Sin embargo, los

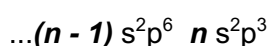
saltos electrónicos dentro del subnivel d son de menor energía y caen dentro de la zona visible del espectro, por lo que se trata de compuestos coloreados.

Este mismo razonamiento es aplicable a los elementos de la columna 1B (Cu, Ag, Au), con estructura cortical  $(n-1) s^2 p^6 d^{10} ns$ . Así por ejemplo, el cobre tiene una estructura  $3 s^2 p^6 d^{10} 4s$ , resultando incoloros los compuestos de  $Cu^+$  y azules los  $Cu^{++}$ , que supone un subnivel d incompleto, lo que demuestra el cumplimiento del denominado **Teorema de multiplicidad de Hund**: *Los electrones en los subniveles d y f tienden al máximo desapareamiento*. Lo que confirma a su vez que los elementos de transición den lugar a iones paramagnéticos, dependiendo el valor del paramagnetismo del número de electrones que puedan existir desapareados.

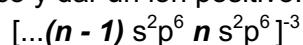
En definitiva, las propiedades químicas de los elementos dependen de la estructura de la corteza electrónica externa. Los elementos de distintas columnas, no pertenecientes a los de transición, presentan diferente su última capa, lo que confiere distintas propiedades a ellos mismo y a los compuestos en los que participan. Los elementos de transición tienen la última capa idéntica, pero se diferencian en la penúltima capa, por lo que presentan algunas propiedades similares. Mientras que las tierras raras (series del La y del Ac) poseen idéntica la última y la penúltima capa, diferenciándose en la antepenúltima, por lo que son muy parecidos entre sí, y sus diferencias son muy profundas, lo que justifica que se agrupen bajo una misma casilla, y que se desglose fuera ya del sistema periódico.

#### 2.2.4. Elementos de la columna 5A. (N, P, As, Sb, Bi)

Poseen la estructura:



para adquirir una estructura electrónica estable deben tomar tres electrones, al ser más fácil que perder cinco y dar un ion positivo:



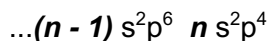
Ahora bien, la entrada del tercer electrón exige un aporte elevado de energía por el rechazo que los dos electrones previos origina, por lo que resultará un ión trivalente inestable, que hace que en la práctica no existan.

Por la estructura cortical de los elementos de este grupo 5A, que es  $s^2 p^3$ , tendrán valencia 1, 3 ó 5. Y los compuestos con valencia 2 ó 4, tipo NO ó  $NO_2$  resultarán inestables.

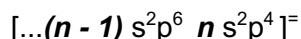
Idénticos razonamientos pueden aplicarse a los elementos de la columna 4A, que intervendrán en sus compuestos con valencia 2 y 4 (caso del CO ó del  $CO_2$ ).

### 2.2.5. Elementos de la columna 6A. (O, S, Se, Te, Po)

Poseen la estructura:



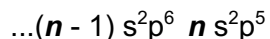
para ellos es más fácil tomar dos electrones que perder seis y se convierten en el ion divalente negativos:



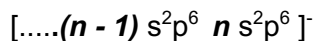
Los iones de este grupo serán incoloros y diamagnéticos y serán estables porque la afinidad neta, suma del desprendimiento de energía que supone la pérdida del primer electrón se compensa prácticamente con el consumo energético que supone la entrada de un segundo electrón como consecuencia del de la repulsión ejercida por el ion negativo anteriormente formado. Y como los electrones de la última capa están apareados de dos en dos, la valencia de estos elementos será 2, 4 ó 6 (casos de SO, SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>, por ejemplo). Este razonamiento permite generalizar lo siguiente: Los elementos que pertenecen a una columna par (o impar) en el sistema periódico poseen una valencia par (o impar).

### 2.2.6. Elementos de la columna 7A. (F, Cl, Br, I)

Su configuración electrónica es:



para adquirir la estructura electrónica de un gas noble resulta más fácil ahora ganar un electrón que no perder siete y se convierten en iones monovalentes negativos.



el ion será más estable que el átomo neutro, por eso estos elementos no se encuentran libres sino en estado de iones (haluros). El ion será incoloro y diamagnético.

Si bien estos elementos no pueden perder electrones para dar iones positivos, pueden ceder para compartirlos con otros átomos en un mecanismo de enlace polar. El electrón que puede ceder es el desapareado que disponen en uno de los orbitales p, originando compuestos monovalentes. Por ejemplo: Cl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ClO<sub>2</sub>H, ClO<sub>2</sub><sup>-</sup>, etc.

Al ceder un segundo electrón, el compañero apareado con él es arrastrado, originando compuestos de valencia tres. Por ejemplo.: Cl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ClO<sub>2</sub>H, ClO<sub>2</sub><sup>-</sup>. Al pretender ceder el cuarto electrón por el mismo motivo sale también el quinto, originando compuestos de valencia cinco, por ejemplo: Cl<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, ClO<sub>3</sub>H, ClO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Por idéntica razón poseen la valencia 7 en lugar de la 6: Cl<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, ClO<sub>4</sub>H, ClO<sub>4</sub><sup>-</sup>. Por tanto, las valencias normales de estos elementos son: 1, 3, 5, 7.

Si se desea obtener compuestos de valencia 4 (Por ejemplo: ClO<sub>2</sub>) o de valencia 6 (Por ejemplo: ClO<sub>3</sub>), tendríamos que aportar energía para desaparecer electrones y se originarán compuestos poco estables. Las

moléculas obtenidas con estas valencias presentarán en el átomo de cloro un electrón desapareado:



serán, por tanto, paramagnéticas.

Y dos moléculas pueden aparearse por sus spins contrarios, originando moléculas dímeras



Por tanto, los compuestos en los que un elemento presenta valencia de paridad contraria a la que le corresponde serán: 1°. Poco estables. 2°. Paramagnéticos. 3°. Presentan gran tendencia a la dimerización (las moléculas serán diamagnéticas en forma dímica y paramagnéticas en forma monómera).

### 2.3. Propiedades de los compuestos químicos: Tipos de enlaces

Del análisis de las estructuras atómicas se pueden deducir muchas propiedades de los elementos, como se acaba de exponer, y también las características de su comportamiento frente a otros elementos.

#### 2.3.1. Enlace químico iónico

En general, los átomos se unen entre sí por intermedio de los electrones corticales, y pueden ocurrir dos casos extremos: en el primero de ellos los electrones de valencia saltan de un átomo a otro y, por el contrario, en el segundo siguen perteneciendo al mismo tiempo a los dos átomos que se unen o combinan; al primero se le denomina enlace *iónico polar o electrovalente*, y al segundo enlace atómico, *no polar o enlace covalente* introducido por Lewis en 1917. Pero entre estos dos casos existen otros muchos grados intermedios; pues téngase en cuenta que los átomos no son cuerpos rígidos y aún en la unión electrónica isovalente, los iones de signo contrario se atraen en sus envolturas electrónicas, o lo que es igual, se polarizan y esto no es más que un paso al enlace covalente u homopolar.

Los compuestos iónicos se forman por la unión de átomos o grupos de átomos cargados con signos contrarios, por lo que cada uno puede considerarse en la molécula como un polo distinto. Dicha unión se realiza entre elementos situados en los extremos de la tabla periódica, es decir, entre átomos que poseen uno o dos electrones en sus capas externas (elementos metálicos como el Na, Mg y Al) y aquellos otros que les faltan, por el contrario, electrones para completar una subcapa estable de tipo  $s^2p^6$ , como la de los gases nobles, y adquirir estabilidad (elementos no metálicos como Cl, S y P). Los elementos metálicos ceden fácilmente electrones de su capa más externa, adquiriendo así la estructura del gas noble que le antecede, originando iones positivos; por el contrario, los elementos no metálicos son capaces de tomar electrones y completar una subcapa de su envoltura como el gas noble inmediato,

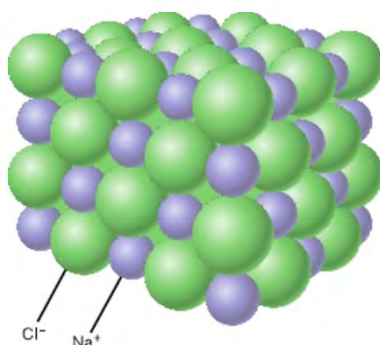
formando así iones negativos. En la reacción del cloro y el sodio para originar el cloruro de sodio:



el sodio cede su electrón exterior al cloro, que ya poseía siete, con lo que ambos átomos quedan con una envoltura de 8 electrones ( $s^2p^6$ ), Figura 60<sup>223</sup>. Pero el sodio al ceder un electrón queda cargado positivamente, crea un campo positivo y, al mismo tiempo, el cloro recibe un electrón extraño, forma un ion negativo y crea otro campo eléctrico de signo contrario; por dicha razón, estos átomos podrán atraerse mutuamente y permanecer unidos. Los compuestos formados por intercambio de electrones se atraen, pues, mediante fuerzas electrostáticas; el valor dichas fuerzas nos lo da la fórmula de Coulomb:

$$f = \frac{e_1 \cdot e_2}{(r_1 + r_2)^2}$$

que muestra que  $f$  será tanto mayor cuanto mayor sean las cargas de los iones presentes,  $e_1$  y  $e_2$  y disminuirá al crecer los radios de los átomos en contacto.



**Figura 60. Esquema de compuesto iónico**

Según lo anterior, los iones pequeños como el  $\text{F}^-$  y  $\text{Na}^+$  deben atraerse más fuertemente que los iones grandes como el  $\text{I}^-$  y  $\text{Ca}^+$ ; igualmente los iones con dos cargas se atraerán más intensamente que los que cuentan solamente con una. La atracción de los iones que constituyen una molécula tiene lugar solamente hasta cierta distancia, pues llegada esta la atracción se anula, lo cual se explica únicamente suponiendo una fuerza repulsiva que crece más de prisa que la primera. Cuando los átomos están alejados, los campos eléctricos se pueden considerar centralizados en un punto y cumplen así bien la ley de Coulomb; pero cuando se hallan muy cerca es forzoso considerar las dimensiones de estos, pues la proximidad de los electrones crea campos del mismo signo que tienden a separar ambos iones.

<sup>223</sup> Burn, R. *Fundamentos de Química*. 5ª Edición. Pearson Educación: México, 2011. Pp. 216. ISBN: 978-607-32-0683-9.

El campo creado por los iones ejerce su acción en todas direcciones, por cuya razón pueden unirse varios a la vez y dar lugar a compuestos desarrollados en las tres direcciones del espacio, en los que el concepto clásico de molécula ha desaparecido; los compuestos heteropolares manifiestan tendencia a originar moléculas muy grandes y adoptar el estado cristalino, resultan así cuerpos sólidos y poco solubles, **lo que constituye un concepto a tener en cuenta en los procesos de dar pátina.**

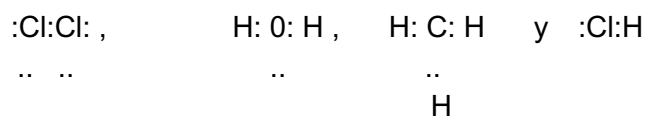
Entre los compuestos heteropolares típicos se encuentra el  $F_2Ca$ , que es un compuesto de gran solidez y elevados puntos de fusión y ebullición; pero existen también otros compuestos de esta clase que, al cristalizar, se agrupan en moléculas "enteras" hallándose en el cristal unidas por fuerzas intermoleculares, mucho más débiles que las que unen a los átomos; de acuerdo con ello, sus propiedades físicas y químicas son también diferentes; los compuestos de la primera clase cristalizan en retículos coordinados y los segundos en retículos moleculares. Así el  $F_3Al$  es un electrolito en estado fundido y conduce bien la corriente eléctrica. En cambio, el  $Cl_3Al$  la conduce difícilmente; estos hechos se explican por la circunstancia de que el cloro tiene un gran volumen atómico y envuelve completamente los átomos de Al, evitando que estos se unan directamente en el cristal a otros átomos contrariamente a lo que sucede en el fluoruro de aluminio.

### 2.3.2. Enlace homopolar u atómico.

En estos tipos de compuestos no se aprecian diferencias de cargas entre sus componentes o son muy pequeñas; se distinguen dos clases de compuestos atómicos: el de las moléculas "cerradas", que pueden por ello permanecer libres, tales como el cloro  $[Cl_2]$  y el metano  $[CH_4]$ , por ejemplo, y se forman mediante unos pocos átomos, y la de aquellos que se desarrollan en las tres direcciones del espacio, como se ha visto en las sales, se les conoce como compuestos adamantinos. Un ejemplo típico de este enlace lo constituye el cristal del diamante el cual origina un retículo de coordinación en el espacio, resultando una molécula de gran solidez que se le transmite al enlace C—C; el grafito, por el contrario, es más atacable, porque cristaliza en laminas hexagonales dispuestas en planos separados entre sí. Pertenecen también a esta clase de unión la de los compuestos SiC, NB,  $SiO_2$  y las diversas formas de los silicatos.

Con el deseo de explicar también esta unión utilizando las ideas de Bohr sobre la estructura del átomo, se parte del hecho, observado en casi todos los compuestos homopolares, de que sus capas externas tienen un número par de electrones y de ahí la importancia de la formación de pares de electrones entre los átomos, como se observa en las moléculas siguientes:





Igualmente se apreció en muchos compuestos la tendencia a la formación de grupos de 8 electrones [Regla del octeto<sup>224</sup>] en sus capas externas.

En los compuestos homopolares u atómicos sus enlaces se realizan mediante la tenencia en común de electrones, de forma que cada trazo de valencia corresponde a la existencia de dos electrones comunes a dos átomos.

El significado de los pares de electrones en los compuestos homopolares, se ha aclarado a partir del momento en que se consideró la rotación propia del electrón o Spin, llegándose a la conclusión de que para que dos átomos se unan es preciso la existencia de un electrón libre, no pareado, en cada uno de ellos y que además sus rotaciones sean de signo contrario; así dos átomos de hidrógeno se unirán para dar la molécula H<sub>2</sub> si los electrones de cada átomo tienen una rotación distinta.

A partir de 1950 se confirmó la denominada **Teoría de los Orbitales Moleculares (TOM)** por la que los electrones que comparten dos o más átomos no pertenecen a un enlace definido, sino que va variando en distintas partes del entorno de los núcleos de las moléculas, y se constituyen como orbitales atómicos solapados que pertenecen a la molécula completa y no a uno o más átomos.

### 2.3.3. Enlace metálico

Actualmente la ciencia encuentra la clave del comportamiento de los metales en la estructura de los átomos elementales de cada metal, y en la estructura que se deriva de la "unión" entre ellos, que conforma lo que se conoce como enlace metálico. El enlace metálico se origina entre elementos electropositivos, esto es, entre elementos de la zona izquierda y centro del Sistema Periódico. Para visualizar la estructura de un metal puede imaginarse una red cristalina Figura 61.a, formada por átomos de un metal. Si uno de sus átomos pierde los electrones de la última capa, Figura 61.b, se convierte en un ion positivo. Si esto sucede con todos los átomos de la red, Figura 61.c, obtendremos un edificio cristalino ocupado por iones positivos rodeados estos de una atmósfera de electrones que pueden moverse libremente por los intersticios de la red cristalina análogamente a como lo hacen las moléculas de un gas ("Gas electrónico").

El fenómeno descrito se dará con tanta mayor facilidad cuanto menos sujetos estén los electrones periféricos al núcleo, lo cual sucede al aumentar el volumen de los átomos, esto es, al descender en una columna del sistema

<sup>224</sup> Formulada en 1916 por Lewis, G.

periódico. Por consiguiente: Al descender en una columna del Sistema Periódico se acentúan las características metálicas de sus elementos. Ejemplos: C (metaloide), Si (metaloide), Ge (presenta una variedad metálica semiconductora), Sn (metal), Pb (metal).

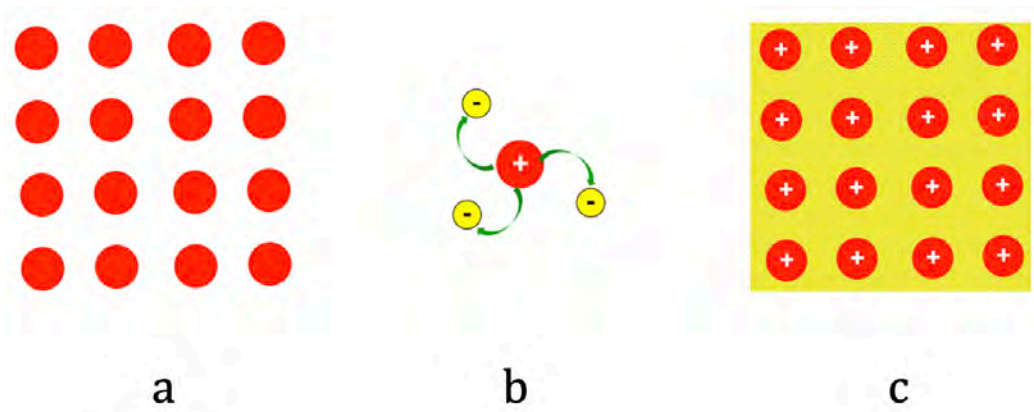


Figura 61. Estructura del enlace metálico

El esquema anterior es demasiado simple. Realmente no es preciso un desprendimiento completo de los electrones periféricos para que se obtenga una estructura metálica. Basta con que estos puedan subir fácilmente a orbitas superiores vacías que se encuentran solapadas con las de los átomos vecinos en su estructura. Como se aprecia en la Figura 62, los electrones periféricos

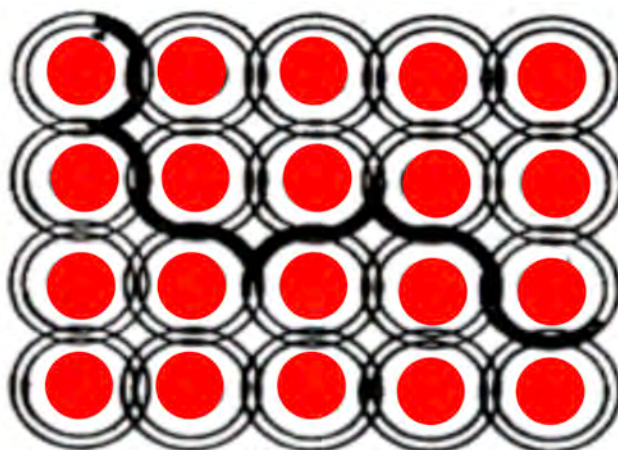


Figura 62. Movilidad electrónica en el enlace metálico

pueden moverse libremente dentro del cristal por las órbitas solapadas.

Pauling formuló un esquema diferente para explicar el enlace metálico: Para él los átomos metálicos contiguos en la malla cristalina se unen por enlace apolar

compartiendo electrones, Figura 63. Pero no habiendo electrones suficientes para que un átomo se enlace con todos sus vecinos el enlace "resuena" entre todos, de ahí la gran movilidad de los electrones del enlace. Se trata, pues, de un enlace apolar que por resonancia es compartido por igual entre un átomo y todos sus vecinos coordinados con él.

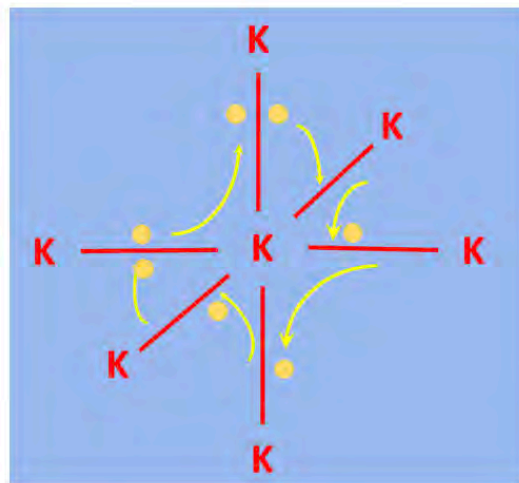


Figura 63. Modelo de Pauling para el enlace metálico

No todos los electrones periféricos de un átomo metálico participan siempre en este enlace apolar resonante. En ciertos metales de transición, algunos electrones (los que no intervienen en el enlace) pueden quedar "desapareados" en los subniveles "d", proporcionando al metal un fuerte paramagnetismo (ferromagnetismo), como ocurre con los metales ferromagnéticos (Fe, Co, Ni). Con estos esquemas se interpretan bien las características generales de los metales:

- Conducen bien la corriente eléctrica porque, al existir en ellos electrones fácilmente desplazables, se pondrán en movimiento hacia el polo positivo al establecer una d.d.p entre dos puntos de un metal.
- Los metales cristalizan en el sistema hexagonal (también en el cubico) porque en su estructura la relación de radios es la unidad (átomos iguales).
- Son densos porque la estructura hexagonal es muy compacta (hay gran número de átomos por unidad de volumen) y los átomos metálicos son los más pesados del Sistema Periódico (los últimos de las diversas columnas); por ello presentan gran masa en reducido volumen.
- Transmiten bien el calor porque al poseer una estructura de empaquetamiento muy compacto, las oscilaciones de sus átomos (debidas a la agitación térmica) se transmiten fácilmente de un átomo a otro.

- Son dúctiles y maleables, dado que es posible que los planos reticulares se deslicen unos sobre otros al estar formados por átomos iguales, cosa que no ocurre con los enlaces iónicos ni con los compuestos apolares (enlaces dirigidos).
- Poseen brillo metálico característico porque al no estar cuantizado el gas electrónico, puede absorber y emitir toda clase de radiaciones. Al incidir un rayo de luz (I) sobre un metal una parte se absorbe (A) y otra parte se refleja (R), según el esquema de la Figura 64.

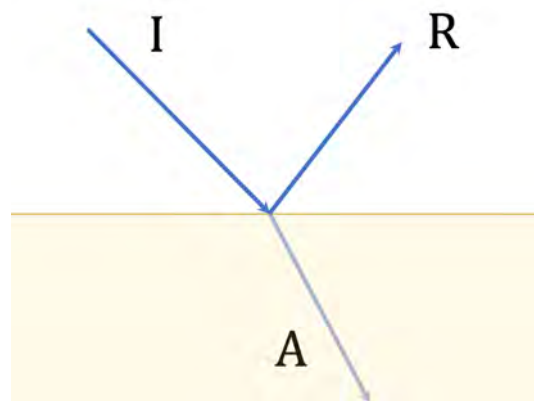


Figura 64. Esquema de absorción y reflexión de la luz

La fracción absorbida (A) crece con la superficie que recibe la luz, y precisamente por eso los metales finamente divididos (gran superficie) son de color negro (absorben íntegramente la luz que reciben).

Algunas de estas propiedades quedan parcialmente anuladas por la acción de los agentes oxidantes, como por ejemplo el oxígeno, el ozono y el dióxido de carbono, que en ambiente húmedo producen la oxidación superficial del metal, por lo que se hace imprescindible someterlos a tratamientos previos antes de aplicarles procesos de coloración y para asegurar su conductividad ya que el óxido no tiene las mismas propiedades que el metal original. Por ello, cabe esperar que los polvos de baja granulometría no sean conductores.

Al fundir dos o más metales juntos y enfriar la solución de ellos se obtiene un sólido de propiedades diferentes a los metales puros, denominado aleación.

Las diversas estructuras en que se presenta una aleación binaria de dos metales A y B, según se recoge esquemáticamente en la Figura 65, pueden ser de cuatro tipos:

- Los metales puros A o B poseen una red cristalina formada por átomos todos de la misma clase.
- Disolución sólida intersticial: En la que uno de los metales (B) ocupa los intersticios de la red del otro (A).
- Disolución sólida sustitucional: En la que algunos átomos de A están sustituidos por átomos de B.
- Superestructuras: En la que los átomos de A y de B se ordenan regularmente en la red como si se tratase de un compuesto AB.

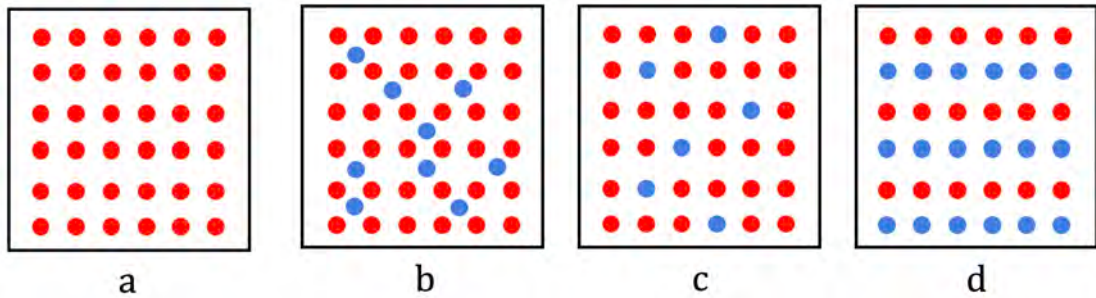


Figura 65. Estructura de las aleaciones

Las propiedades de las aleaciones en general presentan mayor acritud (endurecimiento) que los metales puros, disminuyendo la facilidad de deslizamiento de los planos reticulares. Por tanto, las aleaciones suelen ser menos dúctiles y maleables que los metales puros que las constituyen.

La resistencia eléctrica de una aleación es superior a la que presentan los metales que la integran. Por eso las resistencias que circulan por el comercio son aleaciones, como es el caso de Cromo-Niquel.

La resistencia al ataque químico suele ser mayor en la aleación que en el metal puro, por lo que los recipientes metálicos de gran resistencia química suelen ser aleaciones (por ejemplo, aceros especiales).

La única propiedad que en la mayoría de los casos se conserva aditiva es la densidad.

La composición de la aleación es de suma importancia a la hora de afrontar cualquier proceso de coloración, porque pequeñas cantidades de uno o varios metales añadidos a un metal base de partida pueden modificar sustancialmente el comportamiento químico y electroquímico del metal de partida, originándose reacciones con los otros componentes de la aleación que enmascaran el comportamiento del metal de base. Esto puede afectar seriamente al color resultante. A título indicativo, la Tabla 11 recoge algunas aleaciones de cobre utilizadas en la antigüedad y en la actualidad.

		Cu	Sn	Zn	Pb	Fe	Sb	Al	P	Mn	Ni
<b>Bronce Griego</b>	Espejos	62-71%	23-32%		5-7%						
	Estatuas	88%	6-9%								
<b>Bronce Chino</b>		80%	4%	2%	10%						
<b>Bronce Italiano</b>	Renacimiento I	75%	25%								
	Renacimiento II	86%	12%		2%						
<b>Bronce francés</b>	siglo XVII	90%	2%	7%	1%						
<b>Bronces modernos</b>	I	90%	6,5-7%	3-3,5%		<0,1-0,3%	<0,3%		<0,2%		<1%
	II	85%	5%	5%	5%	<0,1-0,3%	<0,3%				
	III	85%	15%			<0,1-0,3%	<0,3%				
<b>Bronces al Aluminio</b>		>78%						12-9%		<3%	<3%
<b>Latónes</b>	Título I	>67%	0,2-1%	< 33%	< 1%	0,4-4%				1-5%	<1%
	Título II	67-51%	0,2-1%	33-49%	1-3%	0,4-4%				1-5%	<1%
	Título III	< 51%	0,2-1%	> 49%		0,4-4%				1-5%	<1%

Tabla 11. Composición de algunas aleaciones del cobre

El conocimiento de la composición de la aleación es importante, al menos en sus componentes con mayor participación, a la hora de abordar su tratamiento, ya que de no conocerse puede dificultarse su repetibilidad por el elevado número de componentes que la industria maneja para conseguir propiedades específicas de sus productos, como se ilustra en la Figura 66, tomada de Gasparini Industries<sup>225</sup>. Los latones con un contenido de zinc comprendido entre 30% y 50% suelen denominarse latones amarillos, a diferencia de los que el contenido de zinc es inferior al 20%, denominados latones rojos.

---

<sup>225</sup> [Consulta: 28-4-2019]. Disponible en: <https://www.gasparini.com/es/blog/plegar-cobre-bronce-laton/>.

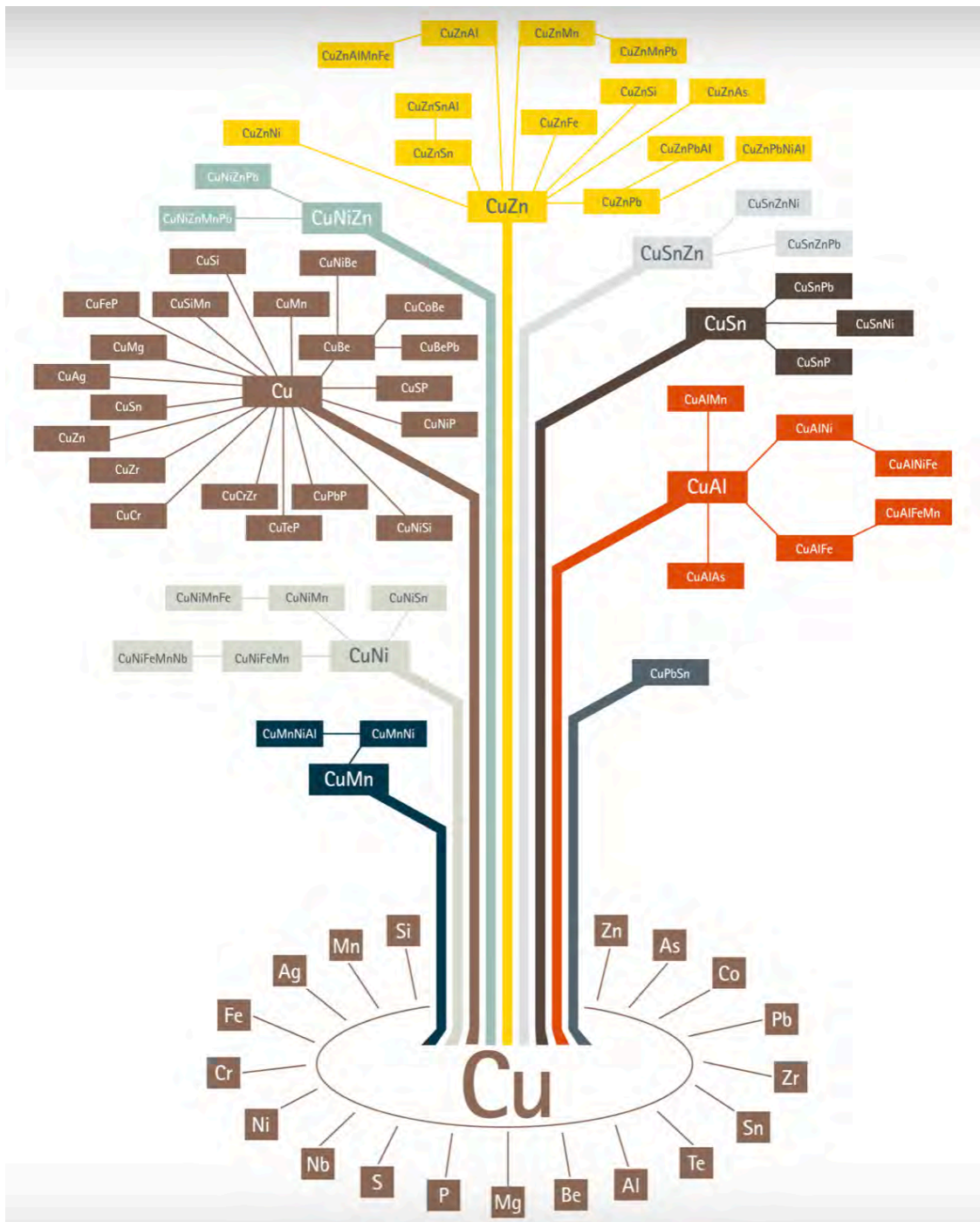


Figura 66. Arbol de las aleaciones del cobre

Las probetas utilizadas en esta tesis fueron analizadas en dos ocasiones por microscopía electrónica <sup>226</sup>, tomando distintas muestras, resultando los siguientes valores promedios de diez puntos de análisis en cada probeta:

	<b>Cu</b>	<b>Sn</b>	<b>Zn</b>	<b>P</b>	<b>Cu</b>	<b>Ti</b>
<i>Bronce</i>	95,9%	4,1%				
<i>Latón</i>	64,8%		35,2%			
<b>Bronce</b>	<b>94,5%</b>	<b>5,1%</b>	<b>0,13%</b>	<b>0,13%</b>		
<b>Latón</b>	<b>65,7%</b>		<b>34,1%</b>			
<b>Zinc</b>	<b>99,5%</b>				<b>0,03%</b>	<b>0,10%</b>

Se adjuntan en la Figura 67, a título de recordatorio, los espectros obtenidos en los análisis de las primeras probetas.

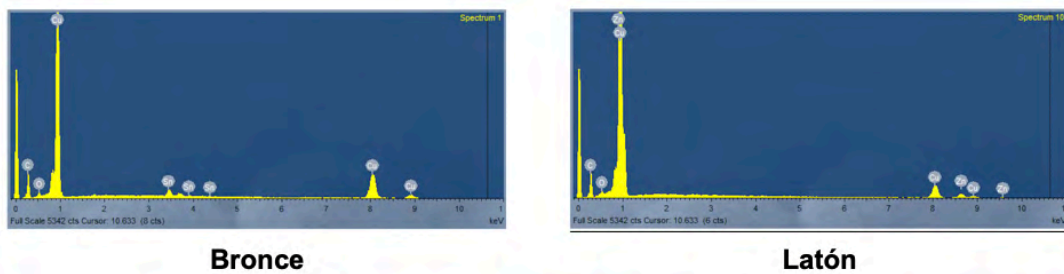


Figura 67. Perfiles analíticos de probetas de bronce y latón

## 2.4. Electrodeposición de metales (EDM)

Existe distintos tipos de electrodeposición de metales<sup>227</sup>, siendo el más extendido el correspondiente a la formación de recubrimientos metálicos delgados y adherentes sobre objetos que constituyen el soporte del depósito. Pero también están en investigación la formación de recubrimientos ramificados que siguen distintos patrones de crecimientos (homogéneos, dendríticos o fractales), en capas delgadas (ECD), que pueden basarse en electrólisis monopolar o bipolar, según que el ánodo y cátodo

<sup>226</sup> Probetas marcadas en cursiva, por cortesía del Centro Nacional de Microscopía Electrónica de la Universidad Complutense de Madrid; Probetas marcadas en negrita, por cortesía de un laboratorio privado de investigación, basado en Fluorescencia de Rayos X. En este segundo análisis, se detectaron en todas las probetas trazas de Fe, Ni, Al y Si, achacables a contaminaciones por polvo, y también trazas de Cl, S y K consecuencia del sudor al tocar con las manos las probetas sin proceder a su limpieza previa.

<sup>227</sup> Gonzalez, G.A. *Transporte iónico y patrones de crecimiento en electrodeposición ramificada*. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. 2003.

estén sumergidos en un electrolito o que el objeto conductor se sitúe entre ánodo y cátodo, actuando según su entorno simultáneamente como ánodo o como cátodo. En este trabajo nos centramos en el caso más sencillos de recubrimientos monopolares no ramificados, que Julve define del siguiente modo:

*“La electrodeposición de metales consiste, a grandes rasgos, en la descarga de un metal sobre un electrodo llamado cátodo, en contacto con una disolución-electrolito conteniendo iones de ese metal, por el paso de una corriente continua, al propio tiempo que en otro electrodo denominado ánodo se produce la parcial disolución del metal”<sup>228</sup>.*

#### **2.4.1. Potenciales de descarga. Voltaje de descomposición**

Al depositar por electrólisis un ion  $M^+$ , la primera capa de átomos depositados (M) se encuentra en contacto con una solución de sus iones, apareciendo un potencial que se opone a la descarga del ion. Este potencial, como se ha visto, puede calcularse mediante la Ecuación de Nernst.

Tratándose de una pila, el potencial del cátodo es superior al del ánodo. En una cuba electrolítica el potencial del ánodo será superior al del cátodo. Por tanto, el voltaje de descomposición (d.d.p) que hay que aplicar a la cuba para que comience la electrólisis será igual a la f.e.m (fuerza electromotriz) de la pila considerada entre los elementos descargados en los electrodos y los iones del electrolito.

Si en una pila pudieran darse varios procesos, tendrá lugar de todos ellos aquel que proporcione mayor f.e.m a la pila. Si en una cuba electrolítica (Figura 68) tuviesen lugar varios procesos de descarga tendrán lugar los que necesiten menor voltaje de descomposición; esto es, en el ánodo se dará el proceso de menor potencial, y en el cátodo, el de mayor potencial.

Así pueden separarse por electrólisis elementos diferentes de una solución sin más que regular el potencial aplicado a los electrodos.

Adoptando las definiciones de Mantel, se conoce como *Galvanostegia*

*” el arte de recubrir, por electrólisis, un metal con una delgadísima capa de otro de mejor calidad y aspecto. Se trata de un depósito de cristales metálicos finos, de gran tenacidad y adherencia, brillante o de fácil pulimento [...]”*

mientras que se suele llamar *Galvanoplastia* a la

*“producción o reproducción de objetos por depósito electrolítico. Incluye: la electrotipia, que tiene como fin la reproducción de composiciones tipográficas, de*

---

228 Julve Salvadó, E. *Las artísticas formas dendríticas producidas en la electrodeposición de metales*. Anales de Química, 104(1), Barcelona, 2008. Pp.64

grabados y medallas; la reproducción de matrices fonográficas; y la elaboración de tubos y placas por depósito electrolítico”<sup>229</sup>

En función de la composición de los electrodos, de la solución electrolítica y de la diferencia de potencial que se aplique, pueden darse procesos distintos,

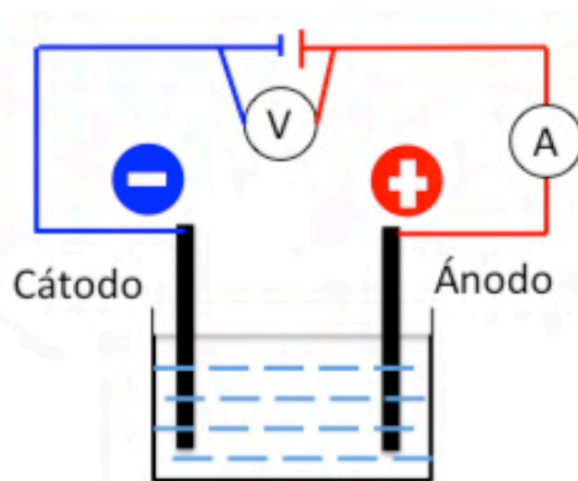


Figura 68. Esquema de cuba para EDM

como son: el desprendimiento de gases en cada electrodo, con variación de la composición /concentración del electrolito, simple transferencia de electrones en algún ion, precipitación de algún producto insoluble, o deposición de metal en el cátodo, siempre mediante reacciones - sencillas o complejas- de oxidación y reducción. Algunos ejemplos prácticos facilitan visualizar todos estos procesos:

**Desprendimiento de gases:**

1º. Solución acuosa de sulfúrico.

Existen en ella los iones: sulfato ( $\text{SO}_4^-$ ), oxidrilos ( $\text{OH}^-$ ) y protones ( $\text{H}^+$ ). En el polo positivo se descarga el oxidrilo (exige menos potencial que el sulfato) desprendiéndose oxígeno. En el polo negativo se desprende hidrógeno. Esto es, se electroliza el agua y la solución se enriquece en sulfúrico.

2º. Solución de cloruro sódico.

En ella están presentes los iones  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{OH}^-$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{H}^+$ . De estos iones en el polo negativo se descarga el hidrógeno y en el positivo el cloro. Se desprende clorhídrico (cloro en un polo e hidrogeno en otro) y la solución se queda con los iones sodio y oxidrilos, enriqueciéndose en sosa.

<sup>229</sup> Mantel, C.L. *Ingeniería Electro-Química*. Ed. Reverté: Barcelona, 1980. Pp. 69 y 110-111. ISBN:978-84-291-7940-8.

### Transferencia electrónica

3º Oxidación del hierro:



Precipitación de producto sólido

4º Reacción del plomo con el ácido sulfúrico en las baterías de plomo:



### Deposición de metales

5º. Ánodos metálico de Níquel

Con independencia de la forma iónica de la solución, al sumergir un ánodo de Ni y aplicar una tensión V entre los electrodos, los iones presentes cargados eléctricamente se ponen en circulación. En el ánodo, el níquel metálico se oxida mediante la reacción:



Pasando los iones  $\text{Ni}^{++}$  a la solución, dirigiéndose al cátodo, en donde se depositan por la reducción a níquel metálico ( $\text{Ni}^0$ ) mediante la reacción contraria:



#### 2.4.2. Parámetros prácticos que afectan al proceso de EDM

Desde un punto de vista práctico, importa determinar la cantidad de metal que se deposita en el tiempo en función de la intensidad de la corriente que circule por un baño electrolítico. En definitiva, conocer la cantidad de materia (moles) por segundo y por unidad de área ( $\text{cm}^2$ ) del electrodo para una cantidad de corriente determinada.

Por las Leyes de Faraday se conoce que “el paso de una cantidad de corriente de 96.940 culombios<sup>230</sup> a través de un electrolito depositará, liberará o descompondrá en cada electrodo un **equivalente electroquímico** de sustancia”.

*“Para explicar estos fenómenos, Faraday supuso que las moléculas neutras en disolución de un electrolito constaban de dos partes cargadas con signos contrarios, a las que llamó iones o “caminantes”. Los que se desplazan hacia el cátodo fueron llamados cationes y los que se dirigen al ánodo aniones. Cuando circula la corriente, los iones positivos son atraídos hacia el cátodo cargado negativamente, en donde se neutraliza su carga y quedan en libertad. Del mismo modo, los aniones se desplazan hacia el ánodo, en donde son neutralizados. Esta hipótesis de Faraday, puesta de acuerdo con los descubrimientos*

<sup>230</sup> 1 culombio = 1 amperio-segundo

posteriores y la teoría de la disociación electrolítica, es aceptada hoy día universalmente”<sup>231</sup>.

Esta cantidad de corriente que deposita 1 mol de electrones se denomina *equivalente electroquímico o faraday*. Por tanto, el equivalente-gramo se calcula dividiendo el peso atómico-gramo del metal depositado por el número de electrones requerido por átomo.

En los procesos habituales se suele trabajar con la unidad amperio-hora, es decir una corriente de 1 amperio de intensidad aplicada durante una hora. La Tabla 12 recoge los equivalentes electroquímicos<sup>232</sup> y otros datos importantes de recubrimientos metálicos más comunes. Estos datos son teóricos, porque suelen ocurrir distintos fenómenos (desprendimiento de gases, formación de hidróxidos, etc..) que consumen energía, por lo que el rendimiento real es siempre menor. En concreto, en la electro-deposición de metales, el ánodo es el que suele aportar la materia que es conducida a través del electrolito para depositarse en el cátodo, definiéndose el **Rendimiento de Corriente Anódico** por la relación:

$$\text{R.C.A.} = \frac{\text{Cantidad de metal disuelta}}{\text{Cantidad de metal calculada por equivalente electroquímico}} \times 100$$

El proceso de electrodeposición de metales es complejo por su propia naturaleza, porque implica diversos mecanismos de transferencia de iones desde el ánodo a la solución del electrolito, que enmascara su comportamiento en función de las condiciones del entorno, de migración de los iones metálicos enmascarados hasta las proximidades del cátodo, que también presenta su complejidad por producirse distintas capas iónicas que lo recubren. Y todos estos procesos deben condicionarse con la aplicación de una diferencia de potencial entre ánodo y cátodo que asegure la migración de los iones metálicos y su depósito sobre el cátodo, deposición que adquiere una configuración cristalina que depende también de varios parámetros.

Julve<sup>233</sup> apunta como principales parámetros los siguientes:

- a) Naturaleza y estado superficial del cátodo (metal-base), que condiciona tanto la viabilidad de la electrodeposición como la estructura de esta para su correcto anclaje en el metal base.

<sup>231</sup> Mantel, C.L. *Ingeniería Electro-Química*. Ed. Reverté: Barcelona, 1980. Pp. 21-22. ISBN:978-84-291-7940-8

<sup>232</sup> Julve Salvadó, E. *Electrodeposición y deposición química (sin corriente) de metales preciosos industriales: Volumen I, Fundamentos, equipo y baños*. Ed. EJS.: Barcelona, 2003. Pp. 32. ISBN: 978-84-607-9420-2.

<sup>233</sup> Julve Salvadó, E. *Electrodeposición y deposición química (sin corriente) de metales preciosos industriales: Volumen I, Fundamentos, equipo y baños*. Ed. EJS: Barcelona, 2003. Pp. 67-68. ISBN: 978-84-607-9420-2.

- b) Densidad de corriente aplicada, resulta decisiva. Una densidad de corriente baja, además de hacer lenta la deposición, influye en la estructura del depósito metálico y en la forma de su crecimiento. Al aumentar la densidad de corriente se facilita toda la operación al vencer barreras y facilitar la obtención de recubrimiento de grano fino, con mayor adherencia. Pero un aumento excesivo de la corriente que atraviesa el baño produce una acumulación desordenada del depósito, con poca adherencia e incluso esponjoso o pulverulento.
- c) Concentración de iones metálicos presentes. Es deseable pocos iones metálicos disociados y muchas moléculas no disociada que se disocian a medida que progresa la deposición.
- d) Concentración de iones hidrógeno (pH). El control del pH, que equivale a controlar la concentración de protones en el baño, evita la formación de hidratos y sales básicas poco solubles y, a su vez disminuye la generación de burbujas en el cátodo. Es habitual utilizar soluciones tampones para mantener bajo control el pH.
- e) Agentes de adición presentes. Permite, con cantidades muy pequeñas, condicionar la estructura cristalina de los electro-depositos.

Elemento metálico	Símbolo	Valencia	Masa atómica	Peso específico kg/dm <sup>2</sup> (20 °C)	Equivalente químico o peso del recubrimiento	Equivalente electroquímico mg/culomb	Culomb/g	g/A·h
Aluminio	Al	3	26,98	2,7	8,992	0,0932	–	0,3355
Antimonio	Sb	3	121,76	6,68	40,59	0,416	2368	1,514
Cadmio	Cd	2	112,41	8,65	56,205	0,58246	1716,9	2,0969
Cinc	Zn	2	65,38	7,14	32,69	0,3387	2951	1,219
Cobalto	Co	2	58,94	8,9	29,47	0,3053	3275	1,099
Cobre I	Cu	1	63,57	8,92	63,57	0,6586	1518	2,371
Cobre II	Cu	2	63,57	8,92	31,78	0,3293	3036	1,186
Cromo	Cr	6	52,01	7,1	8,668	0,8980	11140	0,3233
Estaño II	Sn	2	118,70	7,30	59,350	0,61506	1625,9	2,2142
Estaño IV	Sn	4	118,70	7,30	29,675	0,30753	3251,8	1,1071
Hidrógeno	H <sub>2</sub>	1	1,0078	0,0695	1,0078	0,010441	95776	0,03769
Hierro II	Fe	2	55,84	7,87	27,92	0,2892	3458	1,041
Hierro III	Fe	3	55,84	7,87	18,61	0,1928	5187	0,6941
Indio	In	3	114,76	7,31	38,25	0,397	2562	1,427
Manganeso	Mn	2	54,94	7,3	27,47	0,2847	–	1,025
Molibdeno	Mo	6	95,95	10,2	15,991	0,1658	–	0,5969
Níquel	Ni	2	58,69	8,90	29,35	0,3041	3288	1,095
Oro I	Au	1	197,2	19,3	197,2	2,043	489,3	7,356
Oro III	Au	3	197,2	19,3	65,73	0,6810	1468	2,452
Oxígeno	O	2	16,000	1,1053	8,000	0,082904	12062	0,29846
Paladio	Pd	2	106,7	11,40	53,35	0,542	1808	1,990
Plata	Ag	1	107,88	10,5	107,88	1,11800	894,45	4,0248
Platino	Pt	4	195,23	21,37	48,808	0,5088	1977	1,8209
Plomo	Pb	2	207,22	11,34	103,61	1,0737	931,35	3,8653
Rodio	Rh	3	102,91	12,5	34,10	0,353	2828	1,280

Tabla 12. Equivalentes electroquímicos de elementos metálicos

## 2.5. Fundamentos químicos del color

Ya se ha mencionado el fundamento químico del color, que nace en los saltos de electrones producidos por excitación, esto es, por aportación de energía al átomo. Al cesar la excitación, los electrones vuelven a su estado fundamental transformándose esa energía en fotones que producen color según sean las longitudes de onda.

En este apartado se aborda el análisis de la información existente en la bibliografía sobre distintas recetas químicas, en su mayoría formuladas de modo empírico para generar color en determinados metales.

### 2.5.1. Coloración de los Metales: Recetas químicas históricas

El método tradicional de colorear los metales ha sido mediante la aplicación de pintura sobre su superficie o mediante la aplicación de productos químicos que ataquen la superficie del metal generando una pátina que posteriormente se pasiva para hacerla estable al paso del tiempo.

Se han analizado diversos manuales que incluyen numerosas recetas publicadas en múltiples revistas relacionadas con la coloración de los metales. Con frecuencia se trata de repeticiones de formulaciones antiguas. Se otorga especial relevancia, por su amplitud, al tratado de Hiorns<sup>234</sup>, jefe del Departamento del Instituto Tecnológico de Birmingham, que constituye la mayor contribución al proceso de coloración de metales, que ya en 1892 publicó más de 300 recetas para distintas coloraciones de metales, de las que muchas de ellas el propio autor las calificaba de ineficaces. Esta publicación puede bajarse en PDF desde internet<sup>235</sup>. A su vez Michel<sup>236</sup>, en 1931, publicó 700 recetas para patinas de metales. En 1941 se publica la segunda edición en español de Hiscox y Hopkins<sup>237</sup> que contiene una recopilación limitada de recetas. Más recientemente Young y Fennel<sup>238</sup> recogen una selección de 170 patinas, publicadas en 1980, y Hughes y Rowe<sup>239</sup> publicaron en 1982 más de 1300 formulaciones. Kipper<sup>240</sup> en 1996 y Moreno<sup>241</sup> en 2008, recogen diversas fuentes con recetas varias que incluyen, en este último caso, opiniones de responsables de algunas fundiciones artísticas y de escultores. Huertas<sup>242</sup> cita diversos metales empleados como soportes por pintores flamencos del siglo XVI y XVII, así como algunos productos químicos para dar color a varios metales/aleaciones de uso habitual en las artes plásticas, pero sin explicitar sus composiciones. Pappot<sup>243</sup> en 2014 hizo un resumen de patinas, mayoritariamente enfocado al dorado de bronce. Runfola<sup>244</sup>, también en 2014, recoge también 300 recetas para dar color a metales. Por último,

---

<sup>234</sup> Hiorns, A.H. *Metal-Colouring and Bronzing*. Ed. MacMillan and Co.: London, 1892. 352 páginas.

<sup>235</sup> [Consulta 1-2-2018]. Disponible en:  
<https://ia600508.us.archive.org/12/items/metalcolouringbr00hiorrich/metalcolouringbr00hiorrich.pdf>

<sup>236</sup> Michael, J. *Coloration des Metaux*. Librairie Central des Sciences. 3<sup>a</sup> Édition Desforges, Girardot & Cie.: Paris, 1931.

<sup>237</sup> Hiscox, G.D., Hopkins, A.A. *Recetario Industrial*. 2<sup>a</sup> Edición. Gustavo Gili, Barcelona. 1941. Pp. 516-523.

<sup>238</sup> Young, R.D., Fennell, A. *Methods for Modern Sculptors*. Ed. Sculpt Nouveau. San Rafael, CA-USA, 1980. ISBN: 0-9603744-0-X

<sup>239</sup> Hughes, R., Rowe, M. *The Colouring, Bronzing and Patination of Metals*. Craft Council: London, 1982. ISBN: 0-903798-60-3.

<sup>240</sup> Kipper, P. *Patinas for silicon bronze*. Ed. Rodgers & Nelsen Publishing Co. USA. 1996. Pp. 1-228. ISBN -13: 978-0964726901

<sup>241</sup> Moreno Pavón, C. *Diseño y normalización de patinas en la creación escultórica: Caracterización y procesos técnicos*. Tesis doctoral. Universidad de Granada- Departamento de Escultura. 2008. ISBN: 978-84-691-5980-4

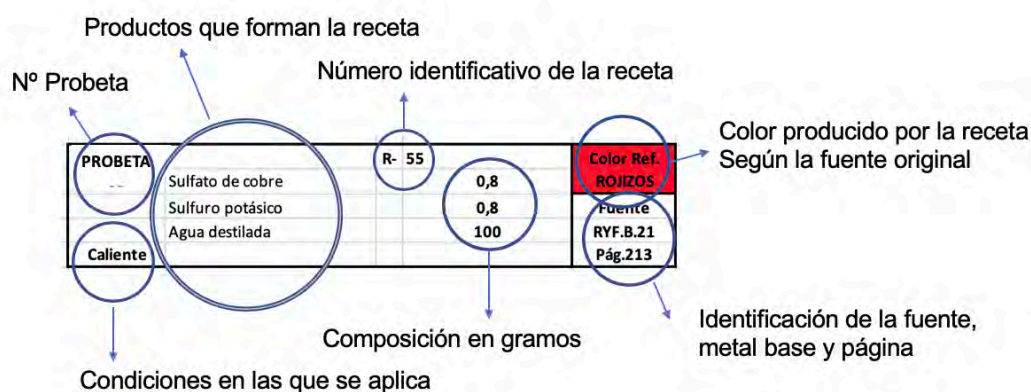
<sup>242</sup> Huertas Torrejón, M. *Materiales, Procedimientos y Técnicas Pictóricas I*. Ediciones AKAL: Madrid, 2010. Pp.79-83. ISBN: 978-84-460-1862-9.

<sup>243</sup> Pappot, A. *Mis en couleur: the colouring of gilt bronze. A review of recipes*. Twelfth International Symposium on Wood and Furniture Conservation. Amsterdam, 14-15 Nov. 2014. Pp. 30-39.

<sup>244</sup> Runfola, M. *Patina: 300+ Coloration Effects for Jewelers & Metalsmiths*. Ed. Interweave Press. Loveland, Co. USA. 2014. Pp. 1-256. ISBN-13: 978-1620331392

destacar la publicación de Young<sup>245</sup> en 2015, revisando su anterior publicación y limitando el número de recetas a casi 100, aunque muchas de ellas ya fueron recogidas en su anterior publicación de 1980. Recientemente se han publicado<sup>246</sup> en internet algunas recetas, unas supuestamente para forja, sin especificar para qué metal, y otras (32) están sacadas de las referencias anteriores<sup>247</sup>.

Durante el desarrollo de este trabajo se han recopilado 347 recetas químicas, y se han clasificado por el color resultante que reporta cada una de las fuentes para el metal o aleación a que hacen referencia, así como los procedimientos y/o condiciones para su aplicación que citan dichas fuentes. Esta información se recoge en una ficha específica para cada receta con la siguiente información resumida:



Estas fichas se recogen en las Tablas 13 a 26, y constituyen una valiosa base de datos para la investigación aplicada objeto de este trabajo, que ha permitido definir una lista de productos químicos, que ha evolucionado con el progreso del trabajo, habiendo alcanzado un total de 123 productos químicos, recogidos en la Tabla 27. De las recetas inicialmente recopiladas se han retenido 240, eliminándose aquellas que incluían productos altamente tóxicos (por ejemplo, derivados del arsénico) o que eran repeticiones de otras formulaciones.

La Figura 69 muestra la distribución de las recetas según el metal al que es aplicable y los colores que supuestamente producen en el metal al que es de aplicación.

<sup>245</sup> Young, R.D. *Contemporary Patination for bronze, brass and copper*. 2<sup>nd</sup>. Edition. Sculpt Nouveau: USA, 2015. ISBN: 978-0-9603744-7-2.

<sup>246</sup> [Consulta: 15-11-2018]. Disponible en : <https://sites.google.com/site/leccionesdeforja/patinas-para-metales>.

<sup>247</sup> [Consulta 2-05-2019]. Disponible en : <https://www.sciencecompany.com/-W160.aspx#1>.

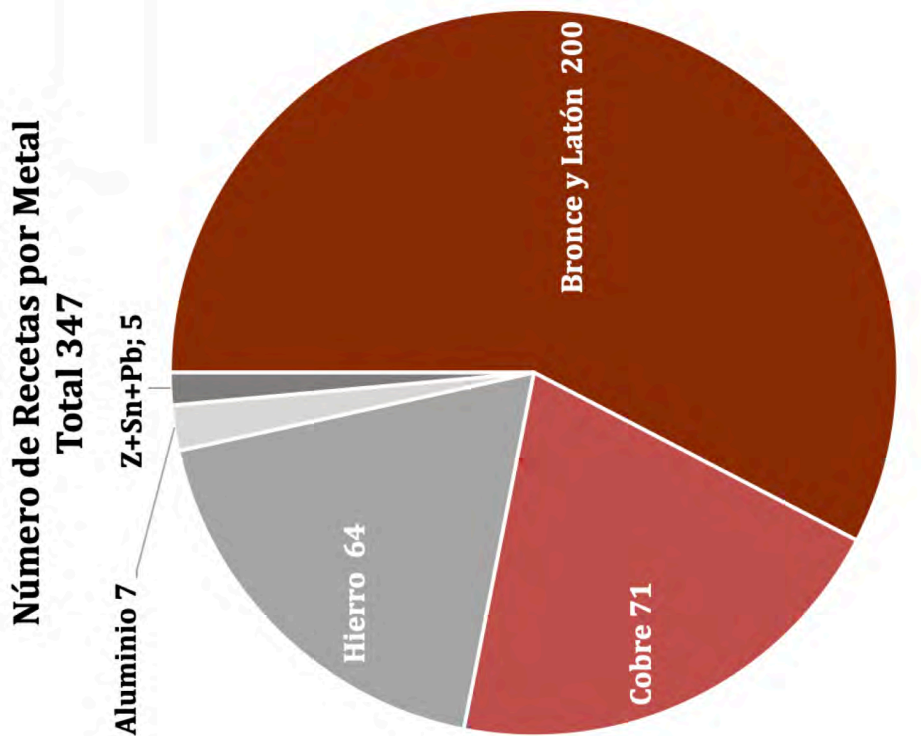
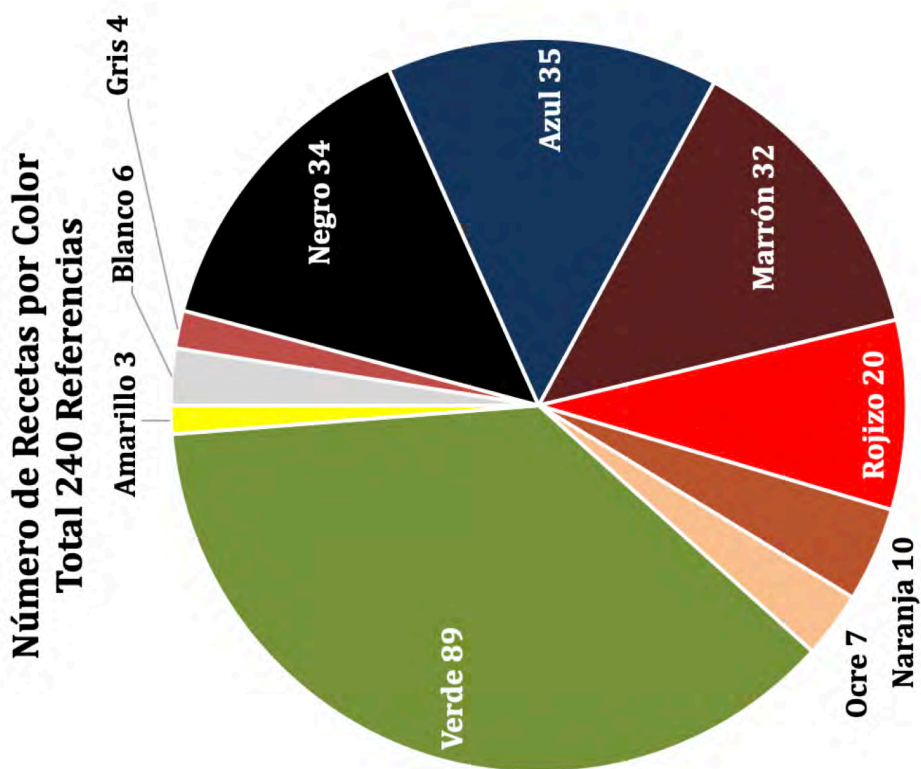


Figura 69. Distribución de recetas por metal y color aportado

<b>RECETA</b>		R-	White Bshmath	<b>Color Ref.</b>
25	White Bshmath			BLANCO
				Fuente
100°C				
<b>RECETA</b>		R-	3	<b>Color Ref.</b>
142	Nitrato de Bismuto		2,1 ml. de sólido	BLANCO
	Dióxido de Titanio		2,1 ml. de sólido	Fuente
	Aqua destilada		100	RYF.B.58
120°C				Pág.231
<b>RECETA</b>		R-	4	<b>Color Ref.</b>
143	Cloruro de Bismuto		,53 ml. de sólido	BLANCO
	Aqua destilada		100	Fuente
				RYF.B.58
120°C				Pág.232
<b>RECETA</b>		R-	5	<b>Color Ref.</b>
144	Sulfato de cobre		1,5 ml. de sólido	BLANCO
	Cloruro de sodio		3,2 ml. de sólido	Fuente
	Aqua destilada		100	RYF.B.59
70-90°C		0		Pág.230
<b>RECETA</b>		R-	6	<b>Color Ref.</b>
145	Nitrato de Bismuto		5,4 gr.	BLANCO
	Dióxido de titanio		5,4 gr.	Fuente
	Silice coloidal		0,8 g.	CP.B.17
	Aqua destilada		100	Pág. 72
Caliente				
<b>RECETA</b>		R-	380	<b>Color Ref.</b>
200	Nitrato de Bismuto		9	BLANCO
	Aqua destilada		100	Fuente
				INT.F.6
Caliente				n.d.

Tabla 14. Recetas para el BLANCO

<b>RECETA</b>		R-	444	<b>Color Ref.</b>
240	Sulfato de cobre		3	GRIS
	Chatarra de cinc		23,2	Fuente
	Aqua destilada		100	RYF. A.4
Ebullición				Pág. 66
<b>RECETA</b>		R-	460	<b>Color Ref.</b>
245	Cloruro de hierro		45,7	GRIS
	Ferrocianuro potásico		45,7	Fuente
	Aqua destilada		100	RYF. Z.2
En frío				Pág.249
<b>RECETA</b>		R-	462	<b>Color Ref.</b>
247	Sulfato de cobre		0,25	GRIS
	Acido nítrico		0,75	Fuente
	Aqua destilada		100	RYF. E.1
F/C				Pág.249
<b>RECETA</b>		R-	465	<b>Color Ref.</b>
250	Acido clorhídrico		400	GRIS
	Aqua destilada		100	Fuente
				RYF. Pb.1
En frío				Pág.250

Tabla 13. Recetas para el GRIS

<b>RECETA</b>	13-60	R- 13	<b>Color Ref.</b> NEGRO
16 = 221	Tiosulfato de sodio	0,7	Fuente
	Nitrato de hierro	5	CP.B.12
	Agua destilada	100	Pág. 66
60°C			
<b>RECETA</b>		R- Pretratamiento	<b>Color Ref.</b> NEGRO
17	Sulfuro potásico ( K <sub>2</sub> S)	2,5	Fuente
	Agua destilada	100	
90°C			
<b>RECETA</b>		R- Antique Black M-20	<b>Color Ref.</b> NEGRO
22	Birchwood- Antique Black		Fuente
En frío			
<b>RECETA</b>		R- 14	<b>Color Ref.</b> NEGRO
28	Nitrato Férrico	1,2	Fuente
	Sulfuro potasio	1,2	CP.B.13
	Sulfuro amónico		Pág. 66
70-80°C	Amoniaco	3	
<b>RECETA</b>		R- 16	<b>Color Ref.</b> NEGRO
30	Hidróxido sódico	1,5	Fuente
	Trisulfuro de Antimonio	0,4	RYF.B.17
	Agua destilada	100	Pág.212
70-80°C			
<b>RECETA</b>		R- 20	<b>Color Ref.</b> NEGRO
34	Cu (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	4,2	Fuente
20	Cl NH <sub>4</sub>	6,5	M.J.L.17
	H <sub>2</sub> O	100	Pág. 157
En Frío			
<b>RECETA</b>		R- 9	<b>Color Ref.</b> NEGRO
36	Carbonato de cobre	0,6	Fuente
	Bicarbonato amónico	1,2	RYF.B.37
	Bicarbonato de sodio	0,3	Pág.219
Caliente	Agua destilada	100	
<b>RECETA</b>		R- 10	<b>Color Ref.</b> NEGRO
38	Nitrato férrico	5	Fuente
	Sulfuro de potasio	5	RYF.B.36
	Agua	100	Pág.218
En Frío	Dicromato sódico	2,5	
<b>RECETAS</b>		R- 10	<b>Color Ref.</b> NEGROS
38 bis	Nitrato férrico	5	Fuente
A	Sulfuro de potasio	5	RYF.B.36
	Agua	100	
B	Cloruro férrico	10	
	Amoniaco	10	
En Frío	Agua destilada	100	Pág.218
<b>RECETA</b>		R- 10	<b>Color Ref.</b> NEGRO
39	Nitrato férrico	5	Fuente
	Sulfuro de potasio	5	RYF.B.36
	Agua	100	Pág.218
En Frío			
<b>RECETA</b>		R- 22	<b>Color Ref.</b> NEGRO
40	Cloruro férrico	20	Fuente
	Ferrocianuro potásico	3	M.J.L.8
	Agua destilada	30	Pág. 151
En Frío			
<b>RECETA</b>		R- 25	<b>Color Ref.</b> NEGRO
43	Acido Fosfórico	10	Fuente
	Acido fluorhídrico	1	CP.B-Cu-L
	Agua	100	0
En Frío			
<b>RECETA</b>		R- 15	<b>Color Ref.</b> NEGRO
44	Sulfuro de potasio	1	Fuente
	Hidróxido de sodio	0,25	RYF.B.39
	Agua destilada	100	Pág.221
Caliente			
<b>RECETA</b>		R- 17	<b>Color Ref.</b> NEGRO
45	Carbonato de cobre	2,4	Fuente
	Cloruro amónico	2,4	M.J.L.19
	Agua destilada	10	Pág. 159
Caliente	Vinagre	0,8	
<b>RECETA</b>		R- 301	<b>Color Ref.</b> NEGRO
150	Cloruro amónico	10	Fuente
	Sulfato de cobre	0	RH.C.24
	Agua destilada	100	3.80
Caliente			
<b>RECETA</b>		R- 302	<b>Color Ref.</b> NEGRO
151	Amoniaco	10	Fuente
	Sulfuro de potasio	12,5	RH.C.28
	Agua destilada	100	3.95*
En Frío			
<b>RECETA</b>		R- 303	<b>Color Ref.</b> NEGRO
152	Hidróxido sódico	2,5	Fuente
	Persulfato potasio	1	RH.C.27
	Agua destilada	100	3.93**
Caliente			
<b>RECETA</b>		R- 385	<b>Color Ref.</b> NEGRO
201	Acido nítrico	0,75	Fuente
	Hidróxido sódico	6,5	RYF.F.12
	Dicromato sódico	1	Pág.254
Ebullición	Agua destilada	100	
<b>RECETA</b>		R- 386	<b>Color Ref.</b> NEGRO
202	Hidróxido sódico	60	Fuente
	Nitrato potasio	23	RYF.F.13
	Agua destilada	100	Pág.254
Ebullición			
<b>RECETA</b>		R- 387	<b>Color Ref.</b> NEGRO
203	Acido nítrico	0,75	Fuente
	Hidróxido sódico	6,5	RYF.F.15
	Dicromato sódico	1	Pág.255
En Frío	Agua destilada	100	

Tabla 15. Recetas para color NEGRO (I)

<b>RECETA</b>		R- 388		<b>Color Ref.</b>
204	Sulfato de cobre		20	<b>NEGRO</b>
	Acido nítrico		40	Fuente
	Metanol		100	RYF.F.13
<b>En Frío</b>				Pág.254
<b>RECETA</b>		R- 389		<b>Color Ref.</b>
205	Carbonato de cobre		0,64	<b>NEGRO</b>
	Carbonato de sodio		0,09	Fuente
	Bicarbonato amónico		0,36	INT.F.10
<b>En frío</b>	Aqua destilada		100	n.d.
<b>RECETA</b>		R- 391		<b>Color Ref.</b>
207	Carbonato de cobre		0,64	<b>NEGRO</b>
	Carbonato de sodio		0,09	Fuente
	Bicarbonato amónico		0,36	INT.F.10
<b>En Frío</b>	Aqua destilada		100	n.d.
<b>RECETA</b>		R- 430		<b>Color Ref.</b>
230	Dicromato potásico		1	<b>NEGRO</b>
	Dicromato sódico		1	Fuente
	Aqua destilada		100	RYF. Inox.1
<b>En frío</b>				Pág.250
<b>RECETA</b>		R- 431		<b>Color Ref.</b>
231	Acido oxálico		1. Sol.10%	<b>NEGRO</b>
	Aqua destilada		2. lavar	Fuente
	Sulfurom sódico		3. Sol. 1%	RYF. Inox.2
<b>En frío</b>				Pág.250
<b>RECETA</b>		R- 432		<b>Color Ref.</b>
232	Dicromato potásico		25	<b>NEGRO</b>
	Acido sulfúrico		90	Fuente
	Aqua destilada		100	RYF. Inox.3
<b>Caliente</b>				Pág.251
<b>RECETA</b>		R- 445		<b>Color Ref.</b>
241	Sulfato de cobre		1,2	<b>NEGRO</b>
	Acido clorhídrico		0,75	Fuente
	Cloruro de Zinc		12	RYF. A.1
<b>Caliente</b>	Aqua destilada		100	Pág. 247
<b>RECETA</b>		R- 446		<b>Color Ref.</b>
242	Nitrato de cobre		2,5	<b>NEGRO</b>
	Acido nítrico		0,4	Fuente
	Permanganato potásico		1	RYF. A.2
<b>Caliente</b>	Aqua destilada		100	Pág. 247
<b>RECETA</b>		R- 461		<b>Color Ref.</b>
246	Sulfato de cobre		5	<b>NEGRO</b>
	Cloruro potásico		5	Fuente
	Aqua destilada		100	RYF. Z.3
<b>Caliente</b>				Pág.249
<b>RECETA</b>		R- 463		<b>Color Ref.</b>
248	Cloruro amónico		5,8	<b>NEGRO</b>
	Sulfato de cobre		5	Fuente
	Trióxido de arsénico		15,2	RYF. E.2
	Cloruro potásico		5	Pág.249
<b>Caliente</b>	Aqua destilada		100	

Tabla 16. Recetas para color NEGRO (I)

<b>RECETA</b> 20	Original Blue Cu (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> Cl NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> O	R- 31	4,2 6,5 100	Color Ref. RHL.48 Fuente CP.8.10 Pág. 64
70°C				
<b>RECETA</b> 31	Sulfuro potásico Cloruro amónico Agua destilada	R- 30	1,5 20 100	Color Ref. RHL.49 Fuente RVF.8.55 Pág. 228
90°C				
<b>RECETA</b> 32	Sulfuro de Cobre Sulfuro amónico Agua destilada	R- 32	1 0,5 100	Color Ref. RHL.49 Fuente RVF.8.20 Ver Pág.213
90°C				
<b>RECETA</b> 33	Tiosulfato potásico Acido nítrico Agua destilada	R- 33	6 0,4 100	Color Ref. RHL.49 Fuente RVF.8.11 Pág.193
En frío 1h.				
<b>RECETA</b> 37	Dicromato potásico Agua destilada	R- 0	0,5 100	Color Ref. RHL.49 Fuente RVF.8.54 Pág. 228
Caliente				
<b>RECETA</b> 41	Nitrato de cobre Cloruro amónico Agua destilada	R- Solución Effect Blue	4,2 6,5 100	Color Ref. n.d.a Fuente
En Frío				
<b>RECETA</b> 42 = 55	Nitrato de Cobre Amoníaco Agua destilada	R- Original Blue	3,5 2 100	Color Ref. n.d.a Fuente
Caliente				
<b>RECETA</b> 47	36 y 37 Cloruro férrico Fenicianuro potásico Agua destilada	R- 36	2 2 8	Color Ref. RHL.49 Fuente RVF.8.53 Pág.228
En Frío				
<b>RECETA</b> 48	Sulfato amónico Agua destilada	R- 37.1	5,2 100	Color Ref. RHL.49 Fuente RVF.8.35 Pág.218
En Frío				
<b>RECETA</b> 49	Sulfuro amónico Agua destilada	R- 38	5,2 100	Color Ref. RHL.49 Fuente RVF.8.35 Pág.218
En Frío				
<b>RECETA</b> 50	Cloruro férrico Fenicianuro potásico Agua destilada	R- 39	1,6 1,6 100	Color Ref. RHL.49 Fuente CP.8.19 Pág. 75
Caliente				
<b>RECETA</b> 51	Hidróxido de sodio Persulfato potásico Agua destilada	R- 40	2,5 1 100	Color Ref. RHL.49 Fuente RH.8.26 1.94**
Caliente				
<b>RECETA</b> 52	Amoníaco Sulfuro de potasio Agua destilada	R- 42	5 1 100	Color Ref. RHL.49 Fuente MLL.14.1 Pág. 146
En Frío				
<b>RECETA</b> 53	Amoníaco Carbonato de cobre Agua destilada	R- 43	75 10 15	Color Ref. RHL.49 Fuente MLL.14.2 Pág. 146
En Frío				
<b>RECETA</b> 54	Original y Effect Blue	R-		Color Ref. RHL.49 Fuente
En Frío				
<b>RECETA</b> 55 = 42	Nitrato de Cobre Amoníaco Agua destilada	R- 31	3,5 2 100	Color Ref. RHL.49 Fuente CP.8.10 Pág. 64
En Frío				
<b>RECETA</b> 56	Nitrato de Cobre Amoníaco Agua destilada	R- 31	3,5 2 100	Color Ref. RHL.49 Fuente CP.8.10 Pág. 64
Caliente				
<b>RECETA</b> 57	Original Blue	R-		Color Ref. RHL.49 Fuente
Caliente				
<b>RECETA</b> 153	Acido acético Hidróxido sódico Persulfato potásico Agua destilada	R- 305	3,5(10%) 2,5 1 100	Color Ref. RHL.49 Fuente RHL.48 3154
Caliente				
<b>RECETA</b> 154	Sulfato de cobre Amoníaco Sulfato amónico Agua destilada	R- 306	0,35 0,2 (88) 10,5 100	Color Ref. RHL.49 Fuente RHL.46 3149
En Frío				

Tabla 17. Recetas para color AZUL (I)

<b>RECETA</b> 155	Nitrato de cobre Acido nítrico Agua destilada	R- 309	10 4 (10%) 100	Color Ref. RHL.49 Fuente RHL.33 3.132**
0				
<b>RECETA</b> 157	Cloruro amónico Sulfuro de potasio Agua destilada	R- 312	1 1 100	Color Ref. RHL.49 Fuente RHL.25 3.88
Caliente				
<b>RECETA</b> 158	Hidróxido sódico Tiosulfuro de antimonio Agua destilada	R- 314	4 1,5 100	Color Ref. RHL.49 Fuente RHL.21 3.73*
Caliente				
<b>RECETA</b> 159	Sulfato de cobre Amoníaco Agua destilada	R- 315	2,5 0,5 100	Color Ref. RHL.49 Fuente RHL.8 3.12*
En Frío				
<b>RECETA</b> 206	Sulfato de cobre Acido nítrico Etanol Agua destilada	R- 390	6,4 12 16 100	Color Ref. RHL.49 Fuente RVF.7.14 Pág.256
En Frío				
<b>RECETA</b> 208	Cloruro potásico Cloruro de mercurio Acido clorhídrico Etanol Agua destilada	R- 392	3,5 5 25 10 100	Color Ref. RHL.49 Fuente RVF.7.18 Pág.252/254
En Frío				
<b>RECETA</b> 209	Cloruro amónico Sulfuro de potasio Agua destilada	R- 393	18 1,3 100	Color Ref. RHL.49 Fuente INT.F.3 n.d.
Caliente				
<b>RECETA</b> 210	Acido nítrico Sulfato sódico Agua destilada	R- 395	0,36 5,4 100	Color Ref. RHL.49 Fuente INT.F.4 n.d.
Caliente				
<b>RECETA</b> 211	Sulfato de cobre Carbonato de cobre Agua destilada	R- 395	12,9 12,9 100	Color Ref. RHL.49 Fuente INT.F.5 n.d.
Caliente				
<b>RECETA</b> 212	Cloruro amónico Amoníaco Cloruro sódico Acido acético Agua destilada	R- 396	0,5 0,4 0,5 0,4 100	Color Ref. RHL.49 Fuente INT.F.11 n.d.
Sol. Caliente				
<b>RECETA</b> 233	Tiosulfato potásico Agua destilada	R- 433	5 100	Color Ref. RHL.49 Fuente RVF. Inox.4 Pág.251
Caliente				
<b>RECETA</b> 234	Acido nítrico Agua destilada	R- 434	12 100	Color Ref. RHL.49 Fuente RVF. Inox.5 Pág.251
Caliente				
<b>RECETA</b> 235	Sulfato de cobre Acido nítrico Etanol Agua destilada	R- 435	6 13 16 100	Color Ref. RHL.49 Fuente RVF. Inox.6 Pág.251
Ebullición				
<b>RECETA</b> 236	Cloruro férrico Cloruro de mercurio Acido clorhídrico Etanol Agua destilada	R- 436	25 25 (Nitrato) 25 100 100	Color Ref. RHL.49 Fuente RVF. Inox.7 Pág.252/256
En Frío				
<b>RECETA</b> 237	Cloruro potásico Cloruro de mercurio Etanol Agua destilada	R- 437	3,5 5 10 100	Color Ref. RHL.49 Fuente RVF. Inox.8 Pág.252/256
En Frío				
<b>RECETA</b> 243	Cloruro de hierro Fenicianuro potásico Agua destilada	R- 450	45,7 45,7 100	Color Ref. RHL.49 Fuente RVF. A.3 Pág. 248
85 °C				

Tabla 18. Recetas para color AZUL (II)

<b>RECETA</b> 12	Residuo Rokusho	R- Residuo Rokusho	Color Ref. <b>MARRON</b> Fuente	<b>RECETA</b> 75	Nitrato de cobre Acido acético Cloruro férmico Aqua destilada	R- 84 10 10 100	Color Ref. <b>MARRON</b> Fuente RYF.B.14 Pág.194
<b>RECETA</b> 18	Acido nítrico Aqua destilada	R- Decapado 10% 90%	Color Ref. <b>MARRON</b> Fuente	<b>RECETA</b> 76	Nitrato de cobre Acido acético Cloruro férmico Aqua destilada	R- 85 1,7 1,7 100	Color Ref. <b>MARRON</b> Fuente CP.B.25 Pág. 89
<b>RECETA</b> 19=164	PATINA BASE Nitrato Férmico Aqua destilada	R- 92 1 100	Color Ref. <b>MARRON</b> Fuente CP.B.1 Pág. 58	<b>RECETA</b> 77	Sulfato de cobre Cloruro potásico Aqua destilada	R- 86 3 1,5 100	Color Ref. <b>MARRON</b> Fuente RYF.B.18 Pág.212
<b>RECETA</b> 21	TAN	R- TAN	Color Ref. <b>MARRON</b> Fuente	<b>RECETA</b> 78	Sulfuro potasio Sulfuro de cobre Oxido férmico Aqua destilada	R- 87 1 1 0,25 100	Color Ref. <b>MARRON</b> Fuente RYF.B.19 Pág.213
<b>RECETA</b> 24	Rainbow	R- Rainbow	Color Ref. <b>MARRON</b> Fuente	<b>RECETA</b> 79	Nitrato férmico Tiosulfato sódico Aqua destilada	R- 88 0,8 0,8 100	Color Ref. <b>MARRON</b> Fuente RYF.B.23 Pág.214
<b>RECETA</b> 71	Cloruro amónico Acido acético Oxalato de potasio	R- 80 2 100 0,5	Color Ref. <b>MARRON</b> Fuente RYF.B.28 Pág.216	<b>RECETA</b> 80	Sulfato de cobre Carbonato de cobre Acetato de cobre Aqua destilada	R- 89 14,3 14,3 14,3 100	Color Ref. <b>MARRON</b> Fuente RYF.B.25 Pág.214
<b>RECETA</b> 72	Cloruro amónico Vinagre Oxalato potasio	R- 81 2 100 0,5	Color Ref. <b>MARRON</b> Fuente MLB.21 Pág. 157/8	<b>RECETA</b> 81	Nitrato férmico Cloruro férmico Aqua destilada	R- 91 2,5 2,5 100	Color Ref. <b>MARRON</b> Fuente RYF.B.10 Pág.210
<b>RECETA</b> 73	Cloruro amónico Amoniaco Vinagre Oxido férmico	R- 82 1 1 100 20	Color Ref. <b>MARRON</b> Fuente MLB.12 Pág. 145	<b>RECETA</b> 82	Hidróxido sódico Trisulfuro de antimonio Aqua destilada	R- 95 1,6 0,8 100	Color Ref. <b>MARRON</b> Fuente RYF.B.27 Pág.215
<b>RECETA</b> 74	Nitrato férmico Tiosulfato sódico Aqua destilada	R- 83 6,5 0,8 100	Color Ref. <b>MARRON</b> Fuente RYF.B.13 Pág.194	<b>RECETA</b> 83	Acetato de cobre Carbonato amónico Acido tartárico Vinagre	R- 96 1 3 1 Pasta	Color Ref. <b>MARRON</b> Fuente RYF.B.26 Pág.215

Tabla19. Recetas para color MARRON (I)

<b>RECETA</b> 84	Cloruro amónico Acetato de cobre Aqua destilada	R- 98 0,5 0,5 100	Color Ref. <b>MARRON</b> Fuente ML.1.18 Pág. 157	<b>RECETA</b> 217	Sulfato de cobre Cloruro de hierro III Acido nítrico Cloruro de mercurio Metanol	R- 407 2 3 15 0,5 100	Color Ref. <b>MARRON</b> Fuente RYF.F.11 Pág.253
<b>RECETA</b> 141	Pátina Base Nitrato férmico Aqua destilada	R- 2 1 ml. de sólido 100	Color Ref. <b>MARRON</b> Fuente RYF.B.58 Pág.230	<b>RECETA</b> 218	Hidróxido sódico Trisulfuro de antimonio Bicarbonato amónico Aqua destilada	R- 408 0,9 0,44 0,4 100	Color Ref. <b>MARRON</b> Fuente INT.F.9 0
<b>RECETA</b> 215	Sulfato de cobre Acido nítrico Perclorato de hierro Aqua destilada	R- 405 1 0,8 0,5 100	Color Ref. <b>MARRON</b> Fuente RYF.F.9 Pág.252	<b>RECETA</b> 219	Nitrato de hierro Tiosulfato sódico Aqua destilada	R- 409 0,6 0,08 100	Color Ref. <b>MARRON</b> Fuente INT.F.7 n.d.
<b>RECETA</b> 216	Sulfato de cobre Acido nítrico Acido clorhidrico Aqua destilada	R- 406 6,6 1,6 3,3 100	Color Ref. <b>MARRON</b> Fuente RYF.F.10 Pág.253	<b>RECETA</b> 220	Amoniaco Sulfuro potásico Aqua destilada	R- 410 3,8 1,9 100	Color Ref. <b>MARRON</b> Fuente INT.F.8 n.d.

Tabla 20. Recetas para color MARRON (II)

<b>RECETA</b>		R- 76	<b>Color Ref.</b>
6	Permanganato potásico	1	<b>ANARANJADO</b>
	Aqua destilada	100	Fuente
			RH.B.17
<b>Ebullición</b>			1158

<b>RECETA</b>		R- 76	<b>Color Ref.</b>
10	Permanganato potásico	1	Fuente
	Aqua destilada	100	RH.B.17
<b>Ebullición</b>			1158

<b>RECETA</b>		R- 74	<b>Color Ref.</b>
27	Nitrato de Cobre	3	<b>ANARANJADO</b>
	Nitrato Férico	3	Fuente
	Aqua destilada	100	CP.B.3
<b>90°C</b>		<b>90°C</b>	Pág. 60

<b>RECETA</b>		R- 73	<b>Color Ref.</b>
29	Nitrato de Cobre	2,5	<b>ANARANJADO</b>
	Nitrato Férico	2,5	Fuente
	Aqua destilada	100	RYF.B.15
<b>70-80°C</b>			Pág.211

<b>RECETA</b>		R- 70	<b>Color Ref.</b>
58	Sulfato de cobre	4,7	<b>ANARANJADO</b>
	Acetato de cobre	0.8	Fuente
	Sulfato Al-K	1,9	RYF.B.32
	Ácido nítrico	5 gotas	Pág.217
<b>Caliente</b>	Aqua destilada	100	

<b>RECETA</b>	71-72	R- 71	<b>Color Ref.</b>
59	Cloruro amónico	8	<b>ANARANJADO</b>
	Nitrato de cobre	8	Fuente
	Sulfato de cobre	1,6	RYF.B.33
	Cloruro cálcico	2	Pág.218
	Acido oxálico	1	
	Aqua destilada	40	
<b>En Frío</b>			

<b>RECETA</b>		R- 75	<b>Color Ref.</b>
60	Nitrato férico	0,8	<b>ANARANJADO</b>
	Oxido férico	0,8	Fuente
	Aqua destilada	100	RYF.B.16
<b>Caliente</b>			Pág.212

<b>RECETA</b>		R- 345	<b>Color Ref.</b>
164=19	Nitrato férico	1	<b>ANARANJADO</b>
	Aqua destilada	100	Fuente
			RH.C.15
<b>Caliente</b>			3.41*

<b>RECETA</b>		R- 346	<b>Color Ref.</b>
165	Acetato de cobre	2,5	<b>ANARANJADO</b>
	Acido acético	100 (6%)	Fuente
	Bicarbonato amónico	5	RH.C.17
			3.47*
<b>Ebullición</b>			

<b>RECETA</b>		R- 351	<b>Color Ref.</b>
166	Cloruro amónico	3	<b>ANARANJADO</b>
	Sulfuro de potasio	2	Fuente
	Trisulfuro de antimonio	2	RH.C.22
<b>Caliente</b>	Oxido férico	2	3.76*

Tabla 19. Recetas para color NARANJA

<b>RECETA</b>		R- 63 y 64	<b>Color Ref.</b>
<b>1</b>	Sulfato de cobre	2,5	<b>ROJIZO</b>
	Aqua destilada	100	Fuente
	Cloruro Amónico	0,05	RH.L.1
<b>Ebullición</b>	Aqua destilada	100	2.13/2.14
<b>RECETA</b>	63-64	R- 63 y 64	<b>Color Ref.</b>
<b>3</b>	Sulfato de cobre	2,5	<b>ROJIZO</b>
	Aqua destilada	100	Fuente
	Cloruro Amónico	0,2	RH.B
<b>Ebullición</b>			2.13
<b>RECETA</b>		R- 325	<b>Color Ref.</b>
<b>4</b>	Sulfato de cobre	2,5	<b>ROJIZO</b>
	Acetato de cobre	100	Fuente
	Cloruro sódico	0,2	
	Nitrato potásico	0,15	
<b>Ebullición</b>	Aqua	100	
<b>RECETA</b>	63-64	R- 64	<b>Color Ref.</b>
<b>7</b>	Sulfato de cobre	2,5	<b>ROJIZO</b>
	Aqua destilada	100	Fuente
			RH.B
<b>Ebullición</b>			2.14
<b>RECETA</b>		R- 51	<b>Color Ref.</b>
<b>46</b>	Carbonato de cobre	2,4	<b>ROJIZO</b>
	Cloruro amónico	2,4	Fuente
	Ácido acético	1,25	MJ.B.8
<b>En Frío</b>	Aqua destilada	10	Pág.140
<b>RECETA</b>		R- 50	<b>Color Ref.</b>
<b>61</b>	Sulfuro de potasio	18	<b>ROJIZO</b>
	Oxido férrico	24	Fuente
	Sulfuro de cobre	18	CP.B.5
<b>Caliente</b>	Aqua destilada	100	Pág. 62
<b>RECETA</b>		R- 52	<b>Color Ref.</b>
<b>62</b>	Cloruro amónico	0,05	<b>ROJIZO</b>
	Sulfato de cobre	10	Fuente
	Aqua destilada	100	RH.B.27
<b>Caliente</b>			1.70**
<b>RECETA</b>		R- 53	<b>Color Ref.</b>
<b>63</b>	Nitrato de cobre	0,4	<b>ROJIZO</b>
	Sulfato de Niquel	0,4	Fuente
	Clorato potásico	0,4	RYF.B.22
<b>Caliente</b>	Aqua destilada	100	Pág.213
<b>RECETA</b>		R- 58	<b>Color Ref.</b>
<b>64</b>	Sulfato de cobre	2,5	<b>ROJIZO</b>
<b>= 7</b>	Aqua destilada	100	Fuente
			RH.B.33
<b>Caliente</b>			1.3**
<b>RECETA</b>		R- 55	<b>Color Ref.</b>
<b>65</b>	Sulfato de cobre	0,8	<b>ROJIZO</b>
	Sulfuro potásico	0,8	Fuente
	Aqua destilada	100	RYF.B.21
<b>Caliente</b>			Pág.213
<b>RECETA</b>		R- 56	<b>Color Ref.</b>
<b>66</b>	Sulfato de cobre	6,3	<b>ROJIZO</b>
	Sulfuro potásico	6,3	Fuente
	Oxido férrico	8,4	C.P. B.6*
<b>Caliente</b>	Aqua destilada	100	Pág.62
<b>RECETA</b>		R- 57	<b>Color Ref.</b>
<b>67</b>	Receta 56	8 gptas	<b>ROJIZO</b>
	Nitrato férrico	6	Fuente
	Aqua destilada	100	CP.B.6
<b>Caliente</b>			Pág. 62
<b>RECETA</b>		R- 54	<b>Color Ref.</b>
<b>68</b>	Sulfato de cobre	4	<b>ROJIZO</b>
	Acetato de cobre	7	Fuente
	Acido acético 10%	1	RH.B.32
	Sulfato Aluminico Potasico	0,6	1.5**
<b>Caliente</b>			
<b>RECETA</b>		R- 59	<b>Color Ref.</b>
<b>69</b>	Carbonato de cobre	1,6	<b>ROJIZO</b>
	Hidróxido sódico	0,8	Fuente
	Aqua destilada	100	RH.B.28
<b>Caliente</b>		0	1.72**
<b>RECETA</b>		R- 62	<b>Color Ref.</b>
<b>70</b>	Carbonato de cobre	2	<b>ROJIZO</b>
	Tiosulfato sódico	10	Fuente
	Aqua destilada	100	MJ.B.4.1
<b>Caliente</b>		0	Pág. 89/90
<b>RECETA</b>		R- 322	<b>Color Ref.</b>
<b>160</b>	Hidróxido sódico	2,5	<b>ROJIZO</b>
	Persulfato potásico	1	Fuente
	Aqua destilada	100	RH.C.51
<b>Ebullición</b>			3.164*
<b>RECETA</b>		R- 330	<b>Color Ref.</b>
<b>161</b>	Trisulfuro de antimonio	30	<b>ROJIZO</b>
	Oxido férrico	10	Fuente
	Sulfuro amónico	pasta	RH.C.20
<b>En Frío</b>			3.74*
<b>RECETA</b>		R- 331	<b>Color Ref.</b>
<b>162</b>	Amoniaco	2 (0.88)	<b>ROJIZO</b>
	Sulfuro de potasio	2	Fuente
	Trisulfuro de antimonio	20	RH.C.23
<b>En Frío</b>	Oxido férrico	20	3.78*
<b>RECETA</b>		R- 332	<b>Color Ref.</b>
<b>163</b>	Amoniaco	1-2 (.88)Pasta	<b>ROJIZO</b>
	Sulfuro de potasio	10	Fuente
			RH.C.26
<b>Caliente trapo</b>			3.89**
<b>RECETA</b>		R- 400 y 401	<b>Color Ref.</b>
<b>213</b>	Cloruro amónico	2,7	<b>ROJIZO</b>
<b>A</b>	Nitrato de cobre	2,7	Fuente
	Sulfato de cobre	0,57	
	Cloruro cálcico	1,05	INT.F.12
<b>Caliente</b>	Aqua destilada	100	n.d.
<b>B</b>	Acido nítrico	12,5	INT.F.13
<b>En Frío</b>	Aqua destilada	100	n.d.

Tabla 20. Recetas para color ROJIZO

<b>RECETA</b>		<b>R- 104</b>	<b>Color Ref.</b>
<b>8</b>	Sulfato de Cobre	5	<b>OCRE</b>
	Sulfato de Hierro	0,5	Fuente
	Sulfato de Zinc	0,5	RH.B.16
	Permanganato Potásico	0,25	1.19**
<b>Ebullición</b>	Agua	100	
<b>RECETA</b>		<b>R- 101</b>	<b>Color Ref.</b>
<b>11</b>	Sulfato de cobre	12	<b>OCRE</b>
	Amoniaco (30%)	9	Fuente
	Agua destilada	100	RH.B.24
<b>Ebullición</b>			1.4**
<b>RECETA</b>		<b>R- 105</b>	<b>Color Ref.</b>
<b>14</b>	Sulfato de cobre	10 - 0,625	<b>OCRE</b>
	Acetato de cobre	4 - 0,125	Fuente
	Nitrato potásico	4 - 0,125	RH.B.17
	Agua destilada	100	1.28*
<b>Ebullición</b>			
<b>RECETA</b>		<b>R- 111</b>	<b>Color Ref.</b>
<b>15</b>	Trisulfuro de Antimonio	3	<b>OCRE</b>
	Óxido Férrico	1	Fuente
	Bicarbonato Amónico	2	RH.B.19
<b>Caliente</b>	Agua destilada	hasta pasta	1.75**
<b>RECETA</b>		<b>R- Decapado</b>	<b>Color Ref.</b>
<b>18</b>	Acido nítrico	10%	<b>OCRE</b>
	Agua destilada	90%	Fuente
			Propia
<b>RECETA</b>		<b>R- 100</b>	<b>Color Ref.</b>
<b>90</b>	Cloruro amónico	10	<b>OCRE</b>
	Amoniaco	2	Fuente
	Carbonato de cobre	10	RH.B.31
<b>50°C</b>	Agua destilada	100	1.112**
<b>RECETA</b>		<b>R- 102</b>	<b>Color Ref.</b>
<b>91</b>	Amoniaco	0,5	<b>OCRE</b>
	Sulfato de cobre	2,5	Fuente
	Agua destilada	100	RH.B.34
<b>Ebullición</b>	0	0	1.18**
<b>RECETA</b>		<b>R- 103</b>	<b>Color Ref.</b>
<b>92</b>	Sulfato de cobre	1,9	<b>OCRE</b>
	Acetato de cobre	2,5	Fuente
	Agua destilada	100	RH.B.15
<b>Caliente</b>	0	0	1.13**
<b>RECETA</b>		<b>R- 106</b>	<b>Color Ref.</b>
<b>93</b>	Sulfato de cobre	5	<b>OCRE</b>
	Clorato potásico	2	Fuente
	Permanganato potásico	0,5	RH.B.21
<b>Caliente</b>	Agua destilada	100	1.77**
<b>RECETA</b>		<b>R- 107</b>	<b>Color Ref.</b>
<b>94</b>	Sulfato de cobre	2,5	<b>OCRE</b>
	Sulfato de níquel	3,5	Fuente
	Permanganato potásico	0,5	RH.B.25
<b>Caliente</b>	Agua destilada	100	1.64**
<b>RECETA</b>		<b>R- 108</b>	<b>Color Ref.</b>
<b>95</b>	Sulfato de cobre	2,5	<b>OCRE</b>
	Sulfato de níquel	6,5	Fuente
	Clorato potásico	5	RH.B.29
<b>Caliente</b>	Agua destilada	100	1.33*
<b>RECETA</b>		<b>R- 109</b>	<b>Color Ref.</b>
<b>96</b>	Acido nítrico (25%)	43	<b>OCRE</b>
	Nitrato de bismuto	7	Fuente
	Agua destilada	100	RH.B.18
<b>En frío</b>	0	0	1.41**
<b>RECETA</b>		<b>R- 110</b>	<b>Color Ref.</b>
<b>97</b>	Nitrato de níquel	5	<b>OCRE</b>
	Tiosulfato sódico	5	Fuente
	Agua destilada	100	RH.B.23
<b>Caliente</b>	0	0	1.113**
<b>RECETA</b>		<b>R- 112</b>	<b>Color Ref.</b>
<b>98</b>	Carbonato de cobre	3	<b>OCRE</b>
	Dicromato potásico	3	Fuente
	Agua destilada	100	CP.B.2
<b>Caliente</b>	0	0	Pág.60
<b>RECETA</b>		<b>R- 114</b>	<b>Color Ref.</b>
<b>99</b>	Nitrato férrico	5,2	<b>OCRE</b>
	Tiosulfato sódico	0,7	Fuente
	Agua destilada	100	RVF.B.29
<b>Caliente</b>	0	0	Pág.216

Tabla 21. Recetas para color OCRE

<b>RECETA</b> 5	Sulfato de cobre Bicarbonato amónico Bitartrato Potásico	R- 182	5 20 pasta	<b>Color Ref.</b> <b>VERDE</b>	<b>Fuente</b> R.H.B.4 1.129*
<b>RECETA</b> 9	Sulfato de cobre Bicarbonato amónico Bitartrato Potásico Cloruro sódico Acido acético	R- 182	5 20 5 5 pasta	<b>Color Ref.</b> <b>VERDE</b>	<b>Fuente</b> R.H.B.4 1.129*
<b>RECETA</b> 13	Nitrato de cobre Agua destilada	R- 182	10-20	<b>Color Ref.</b> <b>VERDE</b>	<b>Fuente</b> CP.B.24 Pág.88
<b>RECETA</b> 26	Light Green	R- Light Green		<b>Color Ref.</b> <b>VERDE</b>	<b>Fuente</b>
Ebullición 99°C					
<b>RECETA</b> 34-38	<b>PATINA BASE</b> Nitrato de cobre Agua destilada	R- 1	6 100	<b>Color Ref.</b> <b>VERDE</b>	<b>Fuente</b> RYF.B.56 Pág.229
Caliente					
<b>RECETA</b> 35	Cloruro de cobre Cloruro amónico Amoniaco (30%) Agua destilada	R- 181	6 12 12 100	<b>Color Ref.</b> <b>VERDE</b>	<b>Fuente</b> CP.B.23 Pág.87
70°C					
<b>RECETA</b> 85	Cloruro amónico Nitrato de cobre Amoniaco Acido acético Agua destilada	R- 125	5 5 20 10 5	<b>Color Ref.</b> <b>VERDE</b>	<b>Fuente</b> R.H.2 1.115**
En Frio					
<b>RECETA</b> 86	Cloruro amónico Cloruro de cobre (II) Agua destilada	R- 130	3 17 100	<b>Color Ref.</b> <b>VERDE</b>	<b>Fuente</b> RYF.B.24 Pág.214
En Frio					
<b>RECETA</b> 87	Cloruro amónico Acetato de cobre Acido nítrico Agua destilada	R- 131	0,5 0,5 2 gotas 100	<b>Color Ref.</b> <b>VERDE</b>	<b>Fuente</b> RYF.B.42 Pág.223
En Frio					
<b>RECETA</b> 88	Cloruro amónico Cloruro de cobre (II) Agua destilada	R- 132	4,5 9 100	<b>Color Ref.</b> <b>VERDE</b>	<b>Fuente</b> RYF.B.43 Pág.224
En Frio/Caliente					
<b>RECETA</b> 89	Cloruro amónico Nitrato de cobre Cloruro sódico Tartrato potásico Agua destilada	R- 133	1 8 3 3 12	<b>Color Ref.</b> <b>VERDE</b>	<b>Fuente</b> RYF.B.45 Pág.224
En Frio					
<b>RECETA</b> 100	Cloruro amónico Carbonato de cobre Cloruro cálcico Agua destilada	R- 134	4 4 4 100	<b>Color Ref.</b> <b>VERDE</b>	<b>Fuente</b> RYF.B.46 Pág.224
En Frio					
<b>RECETA</b> 101	Cloruro amónico Carbonato de cobre Amoniaco Cloruro sódico Vinagre Agua destilada	R- 135	4,5 0,5 0,5 0,5 100 15 gotas	<b>Color Ref.</b> <b>VERDE</b>	<b>Fuente</b> RYF.B.47 Pág.225
En Frio					
<b>RECETA</b> 102	Cloruro amónico Amoniaco Cloruro sódico Agua destilada	R- 138	8 8 8 20	<b>Color Ref.</b> <b>VERDE</b>	<b>Fuente</b> M.J.B.1 Pág.130
En Frio					
<b>RECETA</b> 103	Cloruro amónico Nitrato de cobre Cloruro Cálcico Agua destilada	R- 137	1 1 1 32	<b>Color Ref.</b> <b>VERDE</b>	<b>Fuente</b> RYF.B.51 Pág.227
En Frio					
<b>RECETA</b> 104	Cloruro amónico Amoniaco Cloruro sódico Acido acético Agua destilada	R- 136	5 4 5 4 32	<b>Color Ref.</b> <b>VERDE</b>	<b>Fuente</b> RYF.B.48 Pág.225
En Frio					
<b>RECETA</b> 105	Solución A Cloruro amónico Amoniaco Agua destilada Solución B Cloruro amónico Amoniaco Vinagre	R- 140	12,5 7,5 50 0 2,5 2,5 50	<b>Color Ref.</b> <b>VERDE</b>	<b>Fuente</b> M.J.B.6 Pág.136
En Frio					
<b>RECETA</b> 106	Cloruro amónico Acetato de cobre Vinagre	R- 142	10 15 Pasta	<b>Color Ref.</b> <b>VERDE</b>	<b>Fuente</b> M.J.B.9 Pág.141
En Frio					
<b>RECETA</b> 107	Cloruro amónico Nitrato de cobre Amoniaco Cloruro sódico Carbonato potásico	R- 144	1 6 12 6 3	<b>Color Ref.</b> <b>VERDE</b>	<b>Fuente</b> M.J.B.14 Pág.145
En Frio					
<b>RECETA</b> 108	Amoniaco Carbonato de cobre Carbonato sódico Agua destilada	R- 145	50 6,2 3,1 25	<b>Color Ref.</b> <b>VERDE</b>	<b>Fuente</b> M.J.B.14 Pág.149
En Frio					
<b>RECETA</b> 109	Cloruro amónico Amoniaco Cloruro sódico Vinagre	R- 146	3 3 3 100	<b>Color Ref.</b> <b>VERDE</b>	<b>Fuente</b> M.J.B.16.1 Pág.150
En Frio					

Tabla 22. Recetas para color VERDE (I)

<b>RECETA</b> 110	Cloruro amónico Carbonato amónico Agua destilada	R- 148	4 12 100	<b>Color Ref.</b> <b>VERDE</b>	<b>Fuente</b> M.J.B.17 Pág.160
En Frio					
<b>RECETA</b> 111	Cloruro amónico Oxalato potásico Acido salicílico Vinagre	R- 150	12 4 1 100	<b>Color Ref.</b> <b>VERDE</b>	<b>Fuente</b> M.J.B.26 Pág.161
En Frio					
<b>RECETA</b> 112	Cloruro amónico Carbonato de cobre Agua destilada	R- 151	7,7 3,9 100	<b>Color Ref.</b> <b>VERDE</b>	<b>Fuente</b> M.J.B.27 Pág.161
En Frio					
<b>RECETA</b> 113	Cloruro amónico Cloruro de cobre Bicarbonato potásico Agua destilada	R- 154	8 2,5 2 50	<b>Color Ref.</b> <b>VERDE</b>	<b>Fuente</b> M.L.11 Pág.152
En Frio					
<b>RECETA</b> 114	Nitrato de cobre Agua destilada	R- 156	6 100	<b>Color Ref.</b> <b>VERDE</b>	<b>Fuente</b> CP.B.7 Pág.93
Caliente					
<b>RECETA</b> 115	Nitrato de cobre Amoniaco Agua destilada	R- 157	6 1 100	<b>Color Ref.</b> <b>VERDE</b>	<b>Fuente</b> CP.B.8 Pág.93
Caliente					
<b>RECETA</b> 116	Cloruro amónico Carbonato de cobre Acetato de cobre Vinagre	R- 158	6 10 8 100	<b>Color Ref.</b> <b>VERDE</b>	<b>Fuente</b> CP.B.26 Pág.93-90
En Frio					
<b>RECETA</b> 117	Cloruro amónico Acetato de cobre Acido nítrico Agua destilada	R- 159	3 1,5 1 100	<b>Color Ref.</b> <b>VERDE</b>	<b>Fuente</b> CP.B.27 Pág.90
En Frio					
<b>RECETA</b> 119	Cloruro amónico Amoniaco Cloruro de sodio Vinagre	R- 182	26 1,5 26 100	<b>Color Ref.</b> <b>VERDE</b>	<b>Fuente</b> CP.B.24 Pág.88
En Frio					
<b>RECETA</b> 120	Nitrato de cobre Acido nítrico Agua destilada	R- 163	10 4 100	<b>Color Ref.</b> <b>VERDE</b>	<b>Fuente</b> R.H.B.1 1.120**
Caliente					
<b>RECETA</b> 121	Nitrato de cobre Cloruro de zinc Agua destilada	R- 165	3 3 Pasta	<b>Color Ref.</b> <b>VERDE</b>	<b>Fuente</b> R.H.B.6 1.128**
En Frio					
<b>RECETA</b> 122 (A)	Nitrato de cobre Agua destilada	R- 169	2,4 100	<b>Color Ref.</b> <b>VERDE</b>	<b>Fuente</b> RYF.B.31 Pág.217
Caliente					
<b>RECETA</b> 122 (B)	Fuencianuro potásico	Sol. Saturada			
<b>RECETA</b> 123	Nitrato de cobre Agua destilada	R- 170	2 100	<b>Color Ref.</b> <b>VERDE</b>	<b>Fuente</b> RYF.B.40 Pág.222
Caliente					
<b>RECETA</b> 124 (A)	Nitrato de cobre Agua destilada	R- 171	2 100	<b>Color Ref.</b> <b>VERDE</b>	<b>Fuente</b> RYF.B.41 Pág.222
Caliente					
<b>RECETA</b> 124 (B)	Nitrato férrico Agua destilada		0,5 100		
Caliente					
<b>RECETA</b> 125	Nitrato de cobre Agua destilada	R- 172	8 100	<b>Color Ref.</b> <b>VERDE</b>	<b>Fuente</b> RYF.B.52 Pág.227
Caliente					
<b>RECETA</b> 126	Nitrato de cobre Nitrato férrico Sulfuro de potasio Agua destilada	R- 173	4 2 0,5 100	<b>Color Ref.</b> <b>VERDE</b>	<b>Fuente</b> CP.B.11 Pág.85
Caliente					
<b>RECETA</b> 127	Nitrato de cobre Acido nítrico Agua destilada	R- 174	5 2 100	<b>Color Ref.</b> <b>VERDE</b>	<b>Fuente</b> M.J.B.14 Pág.57
Caliente					
<b>RECETA</b> 128	Nitrato de cobre Acido clorhídrico Agua destilada	R- 175	5 3 100	<b>Color Ref.</b> <b>VERDE</b>	<b>Fuente</b> CP.B.13 Pág.67
Caliente					
<b>RECETA</b> 129	Amoniaco Cloruro de sodio Vinagre Jugo de limón	R- 176	40 10 40 10	<b>Color Ref.</b> <b>VERDE</b>	<b>Fuente</b> RYF.B.44 Pág.224
En Frio					
<b>RECETA</b> 130	Amoniaco Sulfuro de potasio Sulfuro de Baño	R- 177	15 2 7	<b>Color Ref.</b> <b>VERDE</b>	<b>Fuente</b> RYF.B.50 Pág.226
En Frio					
<b>RECETA</b> 131	Cloruro amónico Amoniaco Carbonato de cobre Cloruro de sodio Vinagre	R- 180	1,6 2,6 2,5 1,6 100	<b>Color Ref.</b> <b>VERDE</b>	<b>Fuente</b> M.J.B.15 Pág.149
En Frio					
<b>RECETA</b> 132	Amoniaco Sulfato de cobre Carbonato de cobre Acetato de cobre Acido nítrico Agua destilada	R- 181	5 gotas 12 12 12 2 gotas 100	<b>Color Ref.</b> <b>VERDE</b>	<b>Fuente</b> CP.B.28 Pág.91
En Frio					

Tabla 23. Recetas para color VERDE (II)

<b>RECETA</b> 133	Sulfato de cobre Cloruro de sodio Acetato de cobre Acido acético (8%) Acido nítrico Agua destilada	R- 183 0,625 0,2 0,125 100 2 gotas 100	Color Ref. <b>VERDE</b> Fuente RH.B.13 1.109*
<b>RECETA</b> 134	Cloruro férrico Agua destilada	R- 186 9,5 100	Color Ref. <b>VERDE</b> Fuente CP.B.21 Pág. 85
<b>RECETA</b> 135	Nitrato férrico Tiosulfato sódico Agua destilada	R- 189 5 0,78 100	Color Ref. <b>VERDE</b> Fuente RYF.B.49 Pág.226
<b>RECETA</b> 136	Cloruro de cobre Agua destilada	R- 193 5 100	Color Ref. <b>VERDE</b> Fuente M.J.L.7 Pág. 152
<b>RECETA</b> 137	Cloruro férrico Agua destilada	R- 194 50 100	Color Ref. <b>VERDE</b> Fuente M.J.L.9 Pág. 151
<b>RECETA</b> 138	Cloruro de cobre Agua destilada	R- 199 10 100	Color Ref. <b>VERDE</b> Fuente M.J.L.13 Pág. 153
<b>RECETA</b> 139	Ferrocianuro potásico Agua destilada	R- 200 0,8 a 1,6(1,2) 100	Color Ref. <b>VERDE</b> Fuente CP.B.18 Pág. 74
<b>RECETA</b> 140	Nitrato de cobre Agua destilada	R- 1 5,3 ml. de salado 100 0 0 0	Color Ref. <b>Base Cian</b> Fuente RYF.B.58 Pág.229
<b>RECETA</b> 158	Cloruro amónico Sulfato de cobre Acido Acético Cloruro de cobre	R- 360 10 20 hasta pasta 20	Color Ref. <b>VERDES</b> Fuente RH.C.30 3.128**
<b>RECETA</b> 169	Nitrato de cobre Cloruro de cinc Agua destilada	R- 361 30 30 h. pasta	Color Ref. <b>VERDE</b> Fuente RH.C.35 3.134**
<b>RECETA</b> 170	Nitrato de cobre Cloruro de sodio Bicarbonato amónico Agua destilada	R- 362 4 4 12 100	Color Ref. <b>VERDES</b> Fuente RH.C.36 3.136*
<b>RECETA</b> 171	Sulfato de cobre Cloruro de sodio Acido acético Bicarbonato amónico Tartarato potásico	R- 363 5 5 h. pasta 24 5	Color Ref. <b>VERDES</b> Fuente RH.C.37 3.137**
<b>RECETA</b> 172	Cloruro amónico Nitrato de cobre Cloruro de sodio Tartarato potásico	R- 366 4 20 16 12	Color Ref. <b>VERDES</b> Fuente RH.C.40 3.140**
<b>RECETA</b> 173	Nitrato de cobre Cloruro férrico Nitrato de zinc Peróxido de hidrógeno	R- 367 15 0,5 15 h. pasta	Color Ref. <b>VERDE</b> Fuente RH.C.41 3.140**
<b>RECETA</b> 174	Nitrato de cobre Acetato de cobre Agua destilada	R- 370 10 1 (35%) 100 0	Color Ref. <b>VERDES</b> Fuente RH.C.47 3.150
<b>RECETA</b> 222	Cloruro amónico Cloruro de cobre Agua destilada	R- 420 3,2 19 100	Color Ref. <b>VERDE</b> Fuente RYF.F.18 Pág.257
<b>RECETA</b> 223	Nitrato de cobre Agua destilada	R- 421 3 100	Color Ref. <b>VERDE</b> Fuente INT.F.14 0
<b>RECETA</b> 224	Cloruro amónico Acetato de cobre Agua destilada	R- 422 25 28 100	Color Ref. <b>VERDE</b> Fuente INT.F.15 0
<b>RECETA</b> 225	Cloruro amónico Nitrato de cobre Cloruro cálcico Agua destilada	R- 423 3,6 3,6 3,6 100	Color Ref. <b>VERDE</b> Fuente INT.F.16 0
<b>RECETA</b> 226	Cloruro amónico Sulfato de cobre Agua destilada	R- 424 0,9 5,3 100	Color Ref. <b>VERDE</b> Fuente INT.F.17 0
<b>RECETA</b> 227	Cloruro amónico Sulfato de cobre Agua destilada	R- 425 7,3 1,2 100	Color Ref. <b>VERDE</b> Fuente INT.F.18 0
<b>RECETA</b> 228	Cloruro amónico Amoníaco Cloruro sódico Acido acético Agua destilada	R- 426 0,5 0,5 0,5 0,5 100	Color Ref. <b>VERDE</b> Fuente INT.F.19 0
<b>RECETA</b> 229	Cloruro amónico Nitrato de cobre Cloruro cálcico Agua destilada	R- 427 0,1 0,1 0,1 100	Color Ref. <b>VERDE</b> Fuente INT.F.20 0

Tabla 24. Recetas para color VERDE (III)

<b>RECETA</b> 2	Acetato de cobre diluido Agua destilada	R- 120 0,5- 1 80	Color Ref. <b>AMARILLO</b> Fuente M.J.L.16 Pág. 157
<b>En frío</b>			
<b>RECETA</b> 167	Cloruro amónico Nitrato de cobre Hiposulfito cálcico Agua destilada	R- 355 2 2 2 100	Color Ref. <b>AMARILLO</b> Fuente RH.C.43 3.143 *
<b>En Frío</b>			
<b>RECETA</b> 221	Nitrato de hierro Tiosulfato sódico Agua destilada	R- 415 4,5 0,7 100	Color Ref. <b>AMARILLO</b> Fuente INT.F.1 n.d.
<b>Ebullición</b>			

Tabla 25. Recetas para color AMARILLO

RECETA	ROCKUSHO 1	R-		Color Ref.
R1	Acetato de cobre	gr.	2,65	
Parte A	Cloruro sódico	gr.	0,65	
	Carbonato cálcico	gr.	1,7	
	Agua destilada	cc	500	
<b>Hervir al menos una vez.</b>				
Parte B	Sulfato de cobre		5	
	Agua destilada		500	
-----				
SIN VINAGRE				
<b>A+B = NIRO (SIN VINAGRE), En Frío</b>				
Fuente: Ó Dubhghaill & Jones. 'Japanese irongane alloys patination'. 2009. Pp.294-309.				

RECETA	ROCKUSHO 1'	R-		Color Ref.
R1'	Acetato de cobre*	gr.	6	
Parte A	Carbonato cálcico	gr.	2	
	Cloruro sódico	gr.	1	
	Agua destilada	cc	500	
-----				
Parte B	Sulfato de cobre		5	
	Agua destilada		500	
<b>A+B En Frío (SIN VINAGRE)</b>				
Fuente: Taima, M. 'The application of black-patinated alloys in the Eastern Mediterranean: technology and technology transfer'. Master of Arts, Hoogeveen (Netherlands). July 2015. Pp. 75.				

\*Producción propia

RECETA	ROCKUSHO 2	R-		Color Ref.
R2	Acetato de cobre*	gr.	5	
Parte A	Carbonato cálcico	gr.	5	
	Agua destilada	cc	500	
-----				
Parte B	Sulfato de cobre		5	
	Agua destilada		500	
	Vinagre de ciruela		5	
<b>A+B En Frío</b>				
Fuente: Utrecht. 'Jewelry Concept and Technology'. Doubleday: New York, 1982. Pp.671.				

\*Producción propia

RECETA	ROCKUSHO 1	R-		Color Ref.
R3	Acetato de cobre	gr.	2,65	
Parte A	Cloruro sódico	gr.	0,65	
	Carbonato cálcico	gr.	1,7	
	Agua destilada	cc	500	
<b>Hervir al menos una vez.</b>				
Parte B	Sulfato de cobre		5	
	Agua destilada		500	
-----				
Parte C	Vinagre de ciruela		5	
<b>A+B, NIRO, A 90°C</b>				
Fuente: Ó Dubhghaill & Jones. 'Japanese irongane alloys patination'. 2009. Pp.294-309.				

RECETA	ROCKUSHO 4	R-		Color Ref.
R4	Acetato de cobre	gr.	6	
Parte A	Carbonato cálcico	gr.	2	
	Hidróxido sódico	gr.	2	
	Agua destilada	cc	150	
	Disolver en caliente y dejar reposar 1 semana.			
Recoger líquido sobrenadante mezclar con Parte B.				
Parte B	Sulfato de cobre	gr.	2	
	Agua destilada		750	
<b>A+B a 37,7°C</b>				
Fuente: Ó Dubhghaill & Jones. 'Japanese irongane alloys patination'. 2009. Pp.309.				

RECETA	Nikomi-Chakusoku	R-		Color Ref.
R5	Rokusho (Receta R2)	gr.	1,9	
Parte A	Sulfato de cobre	gr.	1,2	
	Sulfato Al y K hidratado	gr.	0,2	
	Agua destilada	cc	1000	
	<b>Ebullición (10')</b>			
Desengrasado (30') previo con:				
Bicarbonato sódico				
Daikon (frotar con un rábano blanco de composición alcalina)				
<b>A+B En Frío</b>				
Parte B	Vinagre de ciruela+ NaCl (pH=		5% de A+B	
<b>A+B+C, En Caliente &lt;90°C</b>				
Fuente: Taima, M. 'The application of black-patinated alloys in the Eastern Mediterranean: technology and technology transfer'. Master of Arts, Hoogeveen (Netherlands). July 2015. Pp. 75.				

Tabla 26. Recetas japonesas

Nº ORDEN	PRODUCTO	FORMULA	DENSIDAD g/cm3	Nº ORDEN	PRODUCTO	FORMULA	DENSIDAD g/cm3	Nº ORDEN	PRODUCTO	FORMULA	DENSIDAD g/cm3
1	Agua destilada	H2O	1,00	42	Jabón			83	Persulfato Amonio	(NH4)2(SO4)2	1,98
2	Cloruro Amonio	NH4Cl	1,53	43	Acido Oxalico	HOOC-COOH	1,9	84	Clorato Bario	Ba(ClO3)2	3,18
3	Nitrato Cobre	Cu (NO3)2	2,32	44	Acetato Plomo	(H3C-COO)2Pb	3,25	85	Cloruro Bario	BaCl2	3,86
4	Amoniaco (30%)	NH3	0,73	45	Acetate de Ricino	C18H34O3	0,958	86	Sulfato Bario	BaSO4	4,5
5	Sulfato Cobre	Cu SO4	3,6	46	Tartrato K Antimonio	K2(C4H2O6Sb)2	2,6	87	Borax	Na2[B4O5(OH)4]	1,73
6	Nitrato Hierro III	Fe (NO3)3	1,68	47	Trióxido Arsenico	As2O3	3,78	88	Acido Bórico	H3BO3	1,44
7	Carbonato Cobre	Cu CO3	4	48	Sulfuro Bario	BaS	4,25	89	Carbonato Calcio	CaCO3	2,71
8	Cloruro Sodio	NaCl	2,16	49	Cloruro Bismuto	BiCl3	4,75	90	Hipoclorito Calcio	Ca(ClO)2	2,35
9	Vinagre		1,05	50	Acido Butírico	C4H8O2	0,96	91	Sulfato Calcio	CaSO4	2,32
10	Acetato Cobre	Cu(CH3-COO)2	1,88	51	Nitrato plata	AgNO3	4,35	92	Sulfuro Carbono	CS2	1,29
11	Acido Acetico	CH3-COOH	1,05	52	Cinabrio	HgS	7,67	93	Oxido Cerio	CeO2	7,22
12	Sulfuro Potasio	K2S	2,66	53	Oxido Cobre	CuO	6,31	94	Hidróxido Cobre	Cu(OH)2	3,37
13	Cloruro Hierro	FeCl3	1,4	54	Sulfuro Cobre	CuS	3,6	95	Resina Colofonia		1,07
14	Acido Nítrico	NO3H	1,51	55	Acetato Estaño	(H3-C-COO)2Sn		96	óxido ( verde) Cromo	Cr2O3	5,22
15	Tiosulfato Sodio	Na2S2O3	1,67	56	Etanol	CH3-CH2OH	0,79	97	Acido Fosforico	H2PO4	1,88
16	Sulfato K y Al	KAl(SO)4	1,76	57	Acido Fluorhídrico	FH	1,15	98	Grafito	C	2,2,3
17	Oxido Hierro	Fe2O3	5,24	58	Sulfato Hierro	Fe2(SO4)3	2,84	99	Peróxido Hidrógeno	H2O2	1,45
18	Oxalato Potasio	K2[C00-C00]	2,13	59	Metanol	CH3OH	0,79	100	Viruta Hierro	Fe	7,8
19	Tartrato H Potasio	KC4H5O6	1,05	60	Cloruro Oro	AuCl3	4,7	101	Isopropanol	C3H8O	0,79
20	Sulfuro Amonio	Sb2S3	0,997	61	Nitrato Plata	AgNO3	4,35	102	Oxido(II) Mercurio	HgO	11,14
21	Cloruro Cobre	CuCl2	3,39	62	Pulvo Plombagina	C	2,2,3	103	Dióxido Plomo	PbO2	9,38
22	Ferrocianuro Potasio	(CN)6FeK4	1,85	63	Nitrato de plata	KHCO3	4,4	104	Rokusho		
22.1	Ferrocianuro Potasio	(CN)6FeK3	1,89	64	Carbonato Potasio	K2CO3	2,43	105	Acido Selenico	H2SeO4	2,95
23	Hidróxido Sodio	NaOH	2,13	65	Cloruro Potasio	KCl	1,98	106	Acetato Sodio	H3-C-COONa	1,53
24	Carbonato Amonio	(NH4)2CO3	1,5	66	Hidróxido Potasio	KOH	2,12	107	Bicarbonato Sodio	NaHCO3	2,2
25	Trisulfuro Antimonio	Sn2S3	4,73	67	Persulfato Potasio	K2(SO4)2	2,48	108	Dicromato Sodio	Na2Cr2O7	2,52
26	Puro Azufre	S	2,07	68	Polisulfuro Potasio	K2S	1,65	109	Hipoclorito Sodio	Na ClO	1,11
27	Sulfato Niquel	NiSO4	3,68	69	Sulfato Potasio	K2SO4	2,66	110	Sulfato Sodio	Na2SO4	2,66
28	Clorato Potasio	KClO3	2,34	70	Clorato Sodio	NaClO3	2,5	111	Tartrato Sodio	Na2 C4H4O6	1,54
37	Nitrato Potasio	KNO3	2,11	71	Sulfato Sodio	Na2SO3	2,63	112	Terraborato Sodio	Na2B4O	1,73
29	Pemanganato Potasio	KMnO4	2,7	72	Sulfuro Sodio	Na2S	1,86	113	Coloidal Silice	SiO2	2,06
30	Sulfato Zinc	ZnSO4	3,54	73	Acido Tartárico	C4H6O	1,79	114	Nitrato Zinc	Zn (NO3)2	7,14
31	Ortofosfato Amonio	(NH4)2S04	1,8	74	Oxido Titanio	TiO2	4,23	115	Chatarra Zinc	Zn	7,14
32	Sulfato Amonio	Bi(NO3)3	1,77	75	Yema de huevo			116	Urea	CO(NH2)2	1,32
33	Nitrato Bismuto	CaCl2	2,74	76	Cloruro Zinc	ZnCl2	2,91	117	Cromo VI	CrO3	2,7
34	Cloruro Caldo	HgCl2	2,15	77	Jugo Limón			118	Cobalto	Hidróxido Cr(OH)2	3,6
35	Cloruro Mercurio	K2Cr2O7	5,43	78	Acido Sulfúrico	H2SO4	1,82	119	Manganeso Oxido	MnO2	5,03
36	Dicromato Potasio	Na2CO3	2,68	79	Sulfato Aluminio	Al2(SO4)3	2,67	120	Magnesio Oxido	MgO	3,58
38	Carbonato Sodio	HCl	2,54	80	Acetato Amonio	CH3-COONH4	1,17	121	Niquel Oxido	Ni2O3	4,84
39	Acido Clorhídrico	PbCrO4	1,19	81	Bicarbonato Amonio	NH4HCO3	1,59	122	Estaño Oxido	SnO2	6,95
40	Amarillo de Cromo	Fe(ClO4)3	1,74	82	Dicromato Amonio	(NH4)2Cr2O7	2,12	123	Vanadio Oxido	V2O5	3,36
41	Perclorato Hierro III		2,8								

Tabla 27. Lista de productos químicos

Un resumen de los productos químicos que participan en las recetas aplicables a Cobre y sus aleaciones (Bronce y Latón) se recoge en la Figura 70 a y b, en donde se pone de manifiesto que 20 productos químicos permiten formular casi 300 recetas. La Figura 71 desglosa los productos químicos que, adecuadamente combinados, permiten teóricamente generar una amplia gama de color.

Otros métodos históricamente utilizados a escala industrial para colorear metales han sido los electrolíticos, según recogen Mantel, Craig e Irion<sup>248</sup> :

*“obtuvieron con gran rapidez pátinas sobre cobre y sus aleaciones empleando electrolitos de carbonato alcalino con una densidad de corriente eléctrica de 0,9 a 20 A/dm<sup>2</sup> (Patente americana 1 974 140)”<sup>249</sup>.*

Stareck y Taft<sup>250</sup> utilizaron lactato de cobre para producir colores anódicos de Cu<sub>2</sub>O en toda una gama de matices, con densidades de corriente de 0,1 A/dm<sup>2</sup> a 0,25 voltios.

El método Electrocolor:

*“emplea ánodo de cobre en un electrolito de ion Cu<sup>+</sup> para depositar Cu<sub>2</sub>O en una extensa gama de colores cuyo matiz y tono dependen del tiempo invertido y de la densidad de corriente, pudiendo obtenerse sobre metales diversos el violeta, azul, verde, amarillo”<sup>251</sup>.*

---

<sup>248</sup> Craig e Irion. *Metals & Alloys*, 6. 1935. Pp. 35.

<sup>249</sup> Mantel, C.L. *Ingeniería Electro-Química*. Ed. Reverté. Barcelona, 1980. Pp.110. ISBN:978-84-291-7940-8.

<sup>250</sup> Patente inglesa 452 464.

<sup>251</sup> Patente norteamericana número 2 031 121 utilizada por United Chromium, Inc.

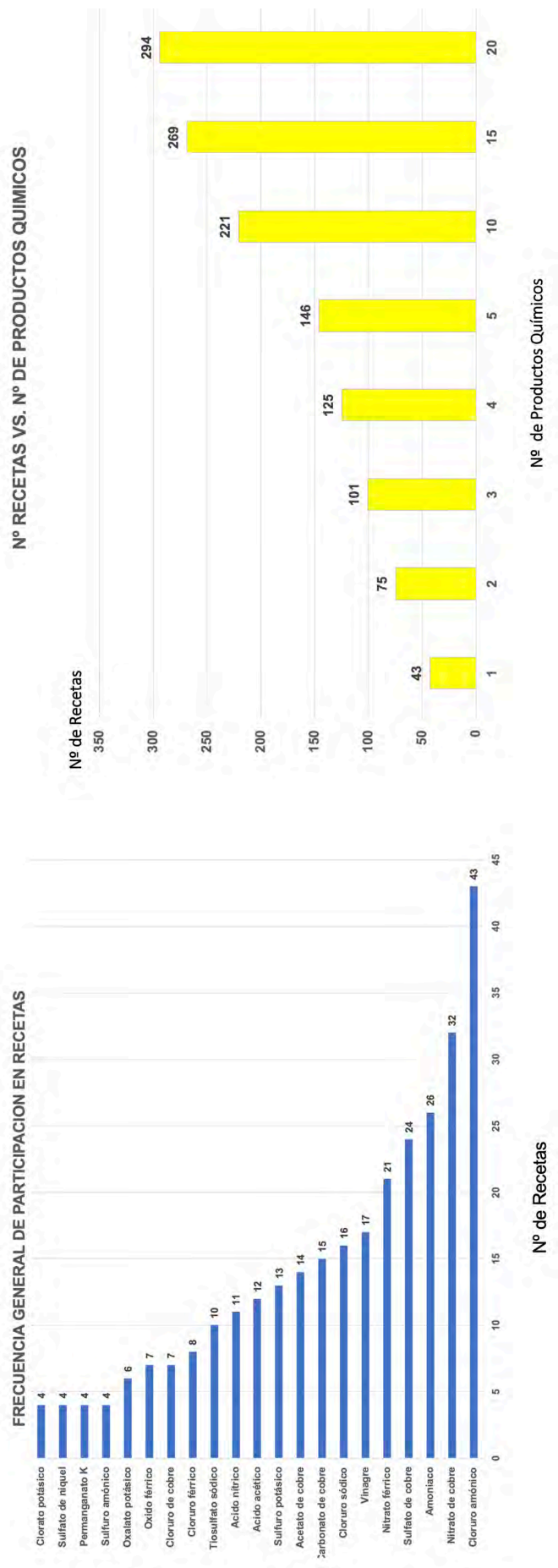


Figura 70. Participación de productos químicos en recetas

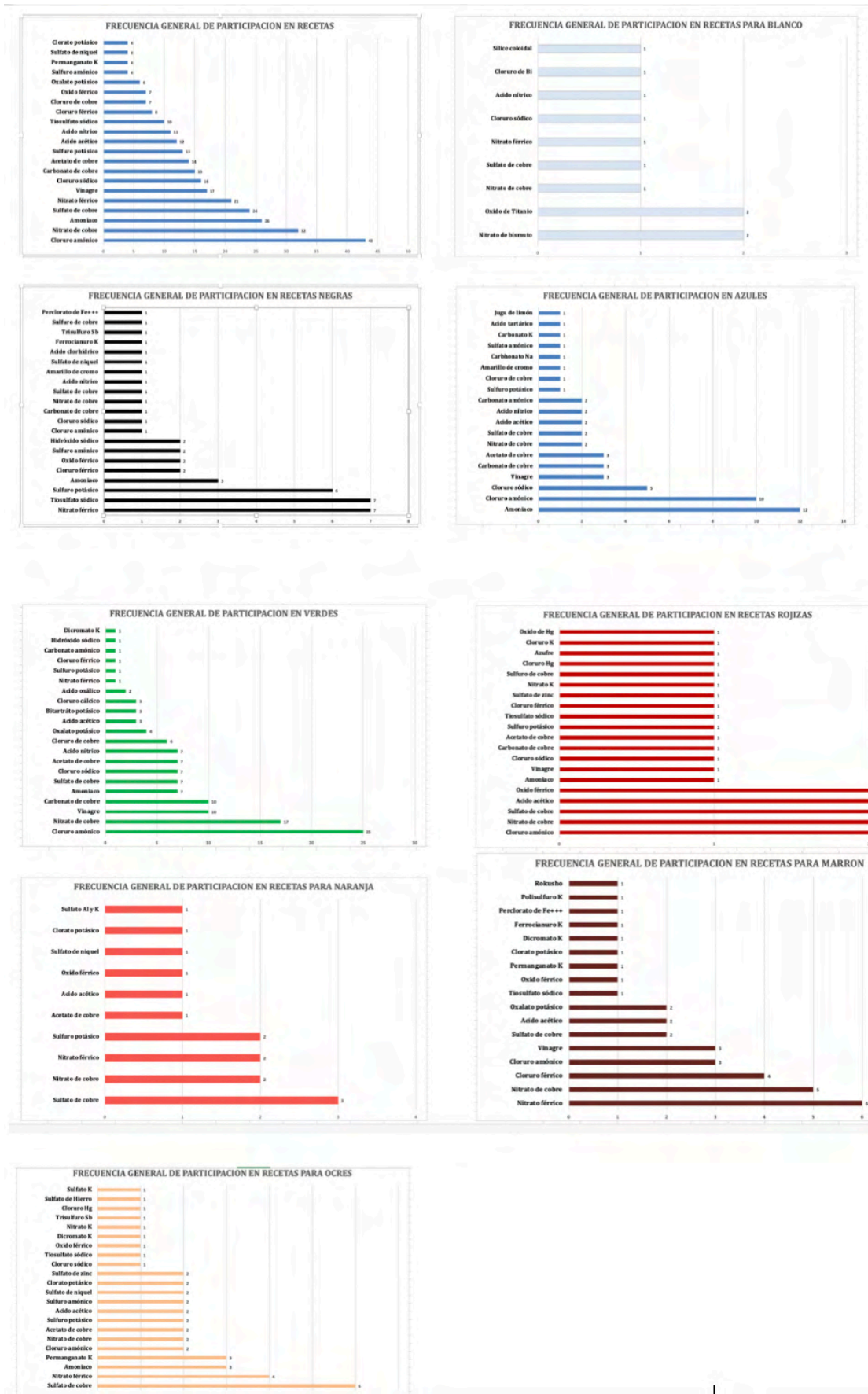


Figura 71. Participación de productos químicos por colores en las recetas

## 2.5.2. El color en la Ciencia Química

El color siempre ha sido un elemento importante en el reconocimiento de los productos químicos y en sus reacciones. En este apartado se repasan algunos elementos que pueden ayudar en la formulación de recetas.

### 2.5.2.1. Iones marcadores

En Química analítica cualitativa se utiliza la denominada **marcha analítica**, que es un proceso técnico y sistemático de identificación de iones inorgánicos en una disolución mediante reacciones químicas en las cuales se produce la formación de productos químicos de color único y característico que permite la identificación o eliminación de aniones y cationes en una muestra.

Para llevar a cabo esta identificación de iones inorgánicos se utilizan, además de procesos de disolución y precipitación, reactivos específicos que tienen la propiedad, en unos casos, de reaccionar solo con algunos cationes y aniones, y en otros, de hacerlo con muchos de ellos. En el primer caso se dice que es un reactivo selectivo de esos iones y en el otro que es un reactivo general o no específico.

La característica que interesa en este trabajo de investigación aplicada es que dicha selectividad se detecta porque el reactivo produce un compuesto químico, con molécula sencilla con un color característico, o con moléculas de varios productos agregados entre sí (denominados complejos), que tienen un color determinado que acusa la presencia de un ion rodeado de distintas moléculas. Para que se produzca esta coloración, se necesitan determinadas condiciones de acidez (pH), estado de oxidación o enmascaramiento.

Es posible cambiar la selectividad del reactivo por tres procedimientos, en los que se incluyen ejemplos para su mejor comprensión:

- **Por variación del pH:** Ej. el ácido sulfhídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ) es un reactivo general que a pH neutro o básico origina precipitados con casi todos los cationes del Sistema Periódico; sin embargo, a pH ácido se produce un efecto (conocido como ion común), que disminuye la concentración del anión  $\text{S}^{2-}$  y sólo precipitan a pH ácido los sulfuros más insolubles, que son los sulfuros de los denominados Grupos I y II de la marcha en química analítica.
- **Por cambio del estado de oxidación:** Ej. el catión  $\text{Ni}^{+2}$  origina un compuesto coloreado de color rosado con el reactivo dimetilgloxima, pero si tenemos en el medio presencia de iones  $\text{Fe}^{++}$ , la dimetilgloxima también genera un color rosado rojizo; sin embargo, al añadir agua oxigenada ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) el ion  $\text{Fe}^{++}$  se oxida y pasa a ser ion  $\text{Fe}^{+++}$ , el cual no reacciona con la dimetilgloxima y podemos detectar la presencia de níquel.
- **Enmascaramiento de cationes:** Ej. el  $\text{Cu}^{++}$  y  $\text{Cd}^{++}$  son dos cationes muy semejantes; sin embargo, se pueden identificar. Si añadimos ácido sulfhídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ) precipitan dos sulfuros, uno de cobre  $\text{CuS}$  (negro) y

otro de cadmio CdS (amarillo) que queda enmascarado con el negro de aquel. Si al conjunto se añade cianuro potásico (KCN), se forman dos compuestos incoloros de cianuro de cobre  $\text{Cu}(\text{CN})_4^{2-}$  y de cadmio  $\text{Cd}(\text{CN})_4^{2-}$  en ambos casos. Pero hecho lo anterior, si se añade ácido sulfhídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ) a la mezcla entonces el derivado del cobre  $\text{Cu}(\text{CN})_4^-$  no reacciona, ya que es muy estable, mientras que el de cadmio  $\text{Cd}(\text{CN})_4^-$  que es menos estable reacciona con el  $\text{H}_2\text{S}$  para dar origen a sulfuro de cadmio (CdS) de **intenso color amarillo**.

Algo similar ocurre con los cationes, que son los iones que por su naturaleza generan iones con carga eléctrica positiva (a diferencia de los aniones que tienen carga eléctrica negativa).

### 2.5.2.2. Ensayos a la llama

Ya se ha apuntado al exponer el Tercer Postulado de Bohr y la *Ley General de Frecuencia* cómo la teoría atómica permite predecir el comportamiento de los átomos, y sus compuestos. Una consecuencia de ello es el sencillo método, principalmente cualitativo, de los ensayos a la llama. Cuando se ponen en el seno de una llama metales puros o productos derivados de ellos, los electrones corticales se excitan por la absorción de energía que les aporta la llama, pasando a niveles energético mayores, esto es, a orbitales con mayor energía. En la medida que cesa esa aportación de energía, los electrones activados regresan nuevamente a sus orbitales habituales, liberando la energía que absorbieron en forma lumínica, Figura 72.

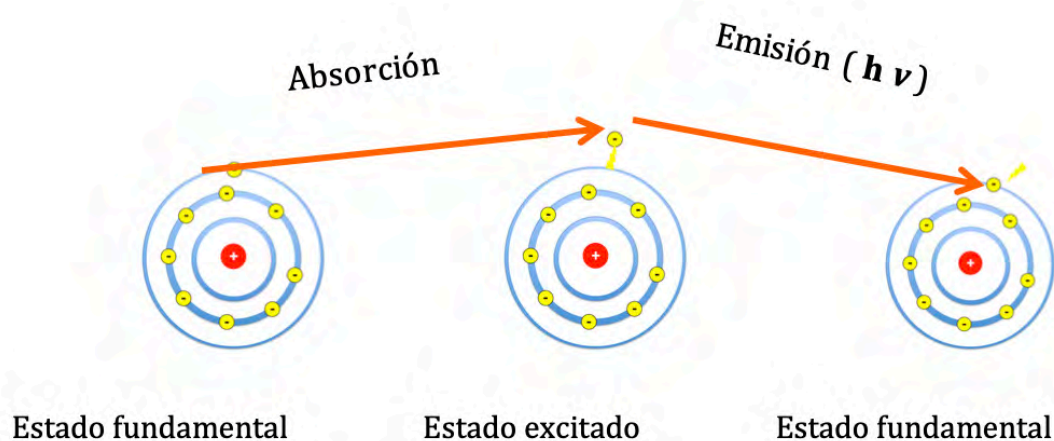


Figura 72. Proceso de absorción y emisión de energía por llama

Las Figuras 73 y 74 recogen fotografías tomadas durante el proceso de investigación. Corresponden al panel para las tomas fotográficas de ensayos a la llama y las emisiones cromáticas que producen algunos elementos y productos químicos tras ponerlos en estado excitado. Cuando son mezclas o compuestos que incluyen más de un elemento, las emisiones percibidas por el ojo humano resultan ser la adición de las respectivas longitudes de ondas. Así, por ejemplo, el Estroncio emite al excitarse una onda que se percibe roja, mientras que la del Cobre es azul, pero para una mezcla de ambos, se percibe el color violeta (rojo+ azul). De aquí que puedan formularse recetas químicas en función de la composición de los elementos químicos que intervengas en la misma y también de los componentes del soporte que se ataque para producir una reacción, y por tanto, generar un determinado color.



**Figura 73. Mechero Bunsen**



Figura 74. Colores en ensayos a la llama

### 2.5.2.3. Marcha Analítica

La marcha analítica se configura por pasos, separando **Grupos** de iones que tienen características comunes, para posteriormente someter cada Grupo a un conjunto de operaciones que permitan la identificación progresiva de cada uno de sus componentes. Existen múltiples procedimientos en la literatura especializada. Por ejemplo, Curtman en la clasificación analítica de los cationes dice:

*“Experimentalmente se demuestra que ciertos iones metálicos se comportan de manera semejante cuando se tratan por un reactivo determinado. Así, añadiendo un exceso de HCl diluido a una solución que contiene todos los cationes corrientes, se obtiene un precipitado formado por los cloruros de  $Ag^+$ ,  $Pb^{2+}$  y  $Hg^{2+}$ . Por consiguiente, estos cationes se clasifican juntos, y colectivamente se conocen como pertenecientes al Grupo 1, porque el HCl es el reactivo que se añade primero a un problema en el análisis sistemático de los iones metálicos. De modo análogo, por adiciones sucesivas de otros reactivos, se pueden separar en Grupos los restantes cationes”*<sup>252</sup>.

La marcha analítica propugnada por Curtman corresponde a la siguiente clasificación: **Grupo I:** Plata, Plomo en cantidades pequeñas, Mercurio (oso); **Grupo II:** Mercurio (ico), Plomo, Bismuto, Cobre, Cadmio, Arsénico y Estaño; **Grupo III:** Aluminio, Cromo, Hierro, Níquel, Cobalto, Manganeso, y Zinc; **Grupo IV:** Bario, Estroncio y Calcio; **Grupo V:** Magnesio, Potasio, Amonio y Sodio.

Cada autor utiliza un sistema algo distinto, aunque en términos generales todos ellos tienen similitudes y coincidencias. Durán<sup>253</sup>, propone un sistema basado en siete grupos de cationes metálicos, que finaliza con un octavo grupo para el catión amonio ( $NH_4^+$ ).

Mosqueira<sup>254</sup>, adopta también cinco Grupos en su marcha analítica, de la que recogemos aquí, a título de ejemplo, un resumen del procedimiento que apunta para los Grupos de cationes I y III, IV y V :

---

<sup>252</sup> Curtman, L. *Análisis Químico Cualitativo*. Ed. Marín, Barcelona, 1959. Pp.143. ISBN: no tiene.

<sup>253</sup> Durán, A. *Marcha analítica y sistemática para la determinación de cationes y aniones. Examen Analítico de los Aniones en una Solución*. Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín, Volumen 4, Número 12: Medellín, 1941. Pp. 1115-1134. ISSN impreso: 0304-2847.

<sup>254</sup> Mosqueira, H. *Análisis Químico: Marcha analítica de cationes y aniones*. Universidad Nacional Cajamarca, Perú. 2018. Pp.6-9. [Consulta: 13-12- 2018] Disponible en: <https://es.scribd.com/document/417413764/Marcha-Analitica-Fi>

## Grupo I (Plata, Plomo y Mercurio)

“Se toma la muestra y se añade HCl 2N. Con este reactivo precipitan los cationes del Grupo I bajo la forma de AgCl, PbCl<sub>2</sub> y Hg<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>. Sobre el mismo embudo se añade agua en ebullición, quedando en el papel de filtro el AgCl y el Hg<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>; el Pb<sup>2+</sup> puede identificarse añadiendo KI, que origina un precipitado de PbI<sub>2</sub> que se disuelve en caliente, que sirve para identificarlo mediante la llamada lluvia de oro, que son cristales de color **amarillo dorado** que se forman. Sobre el mismo papel de filtro se añade NH<sub>3</sub> 2N. En el papel de filtro si existe Hg<sub>2</sub><sup>2+</sup> y se forma una mancha blanca, gris o negro, que es una mezcla de HgCl NH<sub>2</sub> y Hg<sup>0</sup>. En la disolución se forman Ag (NH<sub>3</sub>)<sub>2</sub><sup>+</sup>, que se puede identificar con KI dando un precipitado de AgI, **amarillo claro**“. (Mosqueira,2018. Pp.6).

## Grupo III (Subgrupo III-A: Hierro, Aluminio y Cromo y subgrupo III-B: Manganeso, Cobalto, Niquel y Zinc):

“A la disolución que contiene los cationes del Grupo III y siguientes se añade NH<sub>3</sub> y NH<sub>4</sub>Cl, precipitando los cationes del Grupo IIIA: Fe (OH)<sub>3</sub> (**rojo**), Al (OH)<sub>3</sub> (**blanco**), Cr (OH)<sub>3</sub> (**verde**), pero no precipitan los del Grupo III y siguientes. Para identificar los cationes del Grupo IIIA se añade NaOH y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, de tal forma que el Fe (OH)<sub>3</sub> no se disuelve, pero el resto dan AlO<sub>2</sub><sup>-</sup>, CrO<sub>2</sub><sup>-</sup> (aunque con el H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> da CrO<sub>4</sub><sup>=</sup>). Para reconocer el hierro se disuelve ese precipitado en HCl y se divide en dos partes: a una de ellas se le añade KSCN (si existe hierro se origina un precipitado de **color rojo escarlata intenso**), y a la otra porción se le añade K<sub>4</sub>Fe (CN)<sub>6</sub> (si existe hierro Fe<sup>++</sup> se forma un precipitado de color **azul oscuro o azul de Prusia**). A la disolución que contiene el aluminio y el cromo se añade HCl hasta pH neutro; a continuación, se añade NH<sub>3</sub> y precipita Al (OH)<sub>3</sub>; para poder verse esta disolución se le echa rojo Congo [reactivo específico de una sal sódica que corresponde con un azoderivado sódico, de fórmula C<sub>32</sub>H<sub>22</sub>N<sub>6</sub>Na<sub>2</sub>O<sub>6</sub>S<sub>2</sub>], y se agrega HCl: el rojo Congo pasa a color azul, que al añadir NH<sub>3</sub>, pero vuelve a ser rojo si se agrega Al (OH)<sub>3</sub> [...] Sobre la disolución se echa H<sub>2</sub>S y NH<sub>3</sub>, quedando precipitados los cationes del grupo IIIB: MnS (**rosa**), CoS (**negro**), NiS (**negro**) y ZnS (**blanco**), quedando aparte los de los Grupos IV y V. Sobre los precipitados se agrega HCl, quedando por un lado Mn<sup>2+</sup> y Zn<sup>2+</sup>, y por otro NiS y CoS. La adición en un primer tubo con NaOH y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> da ZnO<sub>2</sub><sup>2-</sup> y un precipitado **marrón** de MnO<sub>2</sub>. Para reconocer el zinc se trata con H<sub>2</sub>S dando un precipitado **blanco** de ZnS. Echando en el segundo tubo agua regia, se generan iones Ni<sup>2+</sup> y Co<sup>2+</sup>. A una de las porciones se neutraliza con NH<sub>3</sub> y se sigue agregando hasta pH básico y después dimetilglioxima; si existe Ni<sup>++</sup> se forma un precipitado **rosa**. Para el Co<sup>++</sup> primero se neutraliza con NH<sub>3</sub>, se tampona con ácido acético y acetato de sodio junto con KSCN; al añadir acetona la fase acetónica toma un color azul“. (Mosqueira,2018. Pp.6-7.)

## Grupo IV (Calcio, Estroncio y Bario)

“Sobre las disoluciones de los Grupos IV y V añadimos (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, precipitando los cationes del Grupo IV: CaCO<sub>3</sub> (**blanco**), BaCO<sub>3</sub> (**blanco**), SrCO<sub>3</sub> (**blanco**), pero si no lo hemos eliminado anteriormente tendríamos también PbCO<sub>3</sub>. Disolvemos esos precipitados en ácido acético y añadimos HCl 2N; si existe plomo precipita PbCl<sub>2</sub>, y disueltos Ca<sup>2+</sup>, Ba<sup>2+</sup> y Sr<sup>2+</sup>. Sobre la disolución añadimos KCrO<sub>4</sub>; si existe bario se obtiene un precipitado amarillo de BaCrO<sub>4</sub>, y disueltos Ca<sup>2+</sup> y Sr<sup>2+</sup>. Sobre la disolución añadimos (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, precipitando

los dos carbonatos:  $\text{CaCO}_3$  y  $\text{SrCO}_3$ , calentamos hasta sequedad, le añadimos un poco de  $\text{H}_2\text{O}$  y acetona y después  $(\text{NH}_4)_2\text{CrO}_4$ , quedando un precipitado de  $\text{SrCrO}_4$  y disuelto el calcio, pero si le añadimos  $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$  precipita  $\text{CaC}_2\text{O}_4$ “.  
(Mosqueira,2018. Pp.7)

## Grupo V

“Los cationes que no precipitan con nada de lo anterior forman el Grupo 0:  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Na}^+$ . La mayor parte de los ensayos se hacen al principio del análisis:

- Para el  $\text{NH}_4^+$  se calienta y, si se desprende amoníaco, que es reconocible por su olor, entonces existe este catión. También se puede agregar el reactivo de Nessler y, si existe amonio da un precipitado de color **amarillo**.
- Para el K: la mejor forma de reconocerlo es a la llama, la que da una coloración violeta. También se puede agregar cobaltonitrito sódico; en medio débilmente ácido si existe  $\text{K}^+$  da un precipitado **amarillo**.
- El  $\text{Na}^+$  se puede identificar porque al añadir amarillo titanio da un color **rojo**.”  
(Mosqueira,2018. Pp.7-8)

De todo lo anterior interesa destacar que la química analítica se apoya en reacciones de productos químicos con los iones metálicos, formando compuestos con distintas coloraciones que oportunamente elegidos, y en función de los componentes metálicos de la aleación, es posible obtener distintas coloraciones en las superficies de los metales.

### 2.5.2.4. Complejos químicos

En base a lo anterior hay que apuntar que la realidad es más complicada, ya que como se ha indicado con anterioridad, muchas veces se forman lo que en química se denomina **complejo**<sup>255</sup> o compuestos de coordinación, términos que se utilizan para describir aquel tipo de estructura molecular que usualmente está formada por un átomo central, con frecuencia un catión metálico, que ejerce una atracción fuerte sobre aniones o sobre moléculas polares que le rodean, denominados **ligandos**, formando grupos de átomos en el espacio. El catión de metal actúa como captador de pares de electrones y los ligandos como donadores de pares de electrones, formando enlaces de tipo covalente.

Con el constante avance que tuvo la química en sus comienzos como ciencia exacta, pronto se sintetizaron una serie de nuevos compuestos que resultaron muy llamativos, especialmente por sus colores, como puede observarse<sup>256</sup> en la Figura 75, que corresponde a compuestos de coordinación del cobalto con distintos ligandos, lo que también sucede con otros elementos de transición de la Tabla Periódica, como son el cobalto, cromo, vanadio, hierro o cobre.

---

<sup>255</sup> IUPAC. *Compendium of Chemical Terminology*, 2nd ed. (the "Gold Book"). Compiled by A. D. McNaught and A. Wilkinson. Blackwell Scientific Publications, Oxford .1997. ISBN: 0865426848.

<sup>256</sup> Petrucci, R. y otros. *Química General. Principios y Aplicaciones Modernas*. 11ª Edición. Ed. Pearson: Madrid, 2017.Pp. 1092. ISBN: 9788490355336

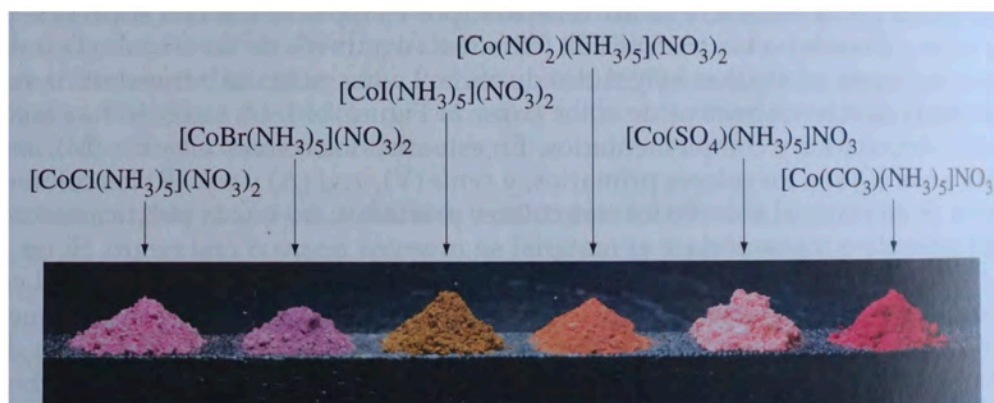


Figura 75. Efecto de los ligandos sobre el color en derivados del cobalto

Los compuestos de coordinación en un principio se designaron por su propio color, Tabla 28<sup>257</sup>, a falta de una descripción química más precisa, y posteriormente tomaron los nombres de sus creadores. Así se dieron a conocer, por ejemplo, la Sal verde de Magnus ( $2\text{PtCl}_2 \cdot 2\text{NH}_3$ ) ó la Sal de Erdmann ( $\text{KNO}_2 \cdot \text{Co}(\text{NO}_2)_2 \cdot 2\text{NH}_2$ ), cuya estructura simulada se recoge, a título ilustrativo, en la Figura 76<sup>258</sup>. Otro de estos vistosos compuestos fue el Azul de Prusia, también conocido como Berliner Blau o azul de Berlín, con formulación

Complejo	Color	Nombre	Formulación actual
$\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{NH}_3$	Amarillo	Cloruro luteocobáltico	$[\text{Co}(\text{NH}_3)_4]\text{Cl}_2$
$\text{CoCl}_2 \cdot 5\text{NH}_3$	Púrpura	Cloruro purpureocobáltico	$[\text{Co}(\text{NH}_3)_4\text{Cl}]\text{Cl}_2$
$\text{CoCl}_2 \cdot 4\text{NH}_3$	Verde	Cloruro praseocobáltico	$\text{trans}-[\text{Co}(\text{NH}_3)_4\text{Cl}]\text{Cl}$
$\text{CoCl}_2 \cdot 4\text{NH}_3$	Violeta	Cloruro violeocobáltico	$\text{cis}-[\text{Co}(\text{NH}_3)_4\text{Cl}]\text{Cl}$
$\text{CoCl}_2 \cdot 5\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Rojo	Cloruro roseocobáltico	$[\text{Co}(\text{NH}_3)_4\text{H}_2\text{O}]\text{Cl}_2$

Tabla 28. Compuestos designados de acuerdo con su color

<sup>257</sup> Basolo, F., Johnson, R. *Química de los compuestos de coordinación. La Química de los complejos metálicos*. Ed. Reverté, S.A. Barcelona. 1980. Pp. 11. ISBN: 8429170405.

<sup>258</sup> [Consulta 15-05-2019]. Disponible en: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/407207#section=2D-Structure>

$\text{KCN}\cdot\text{Fe}(\text{CN})_2\cdot\text{Fe}(\text{CN})_3$ , producido por Diesbach en Berlín a comienzos del siglo XVIII. Muchos de los primeros complejos fueron utilizados como pigmentos por los pintores de la época.

No fue hasta mediados del siglo XIX que los químicos comenzaron a interesarse por la verdadera naturaleza de su constitución y por su relación con otros compuestos más sencillos. En paralelo, el número de complejos conocidos aumentaba a medida que progresaba su estudio.



Figura 76. Estructura de la sal de Erdmann

El reconocimiento de la verdadera naturaleza de los complejos se inicia con Alfred Werner (1866-1919) profesor de Química en Zurich, quien demostró que las moléculas neutras que participan en la formación de un complejo (entidad de coordinación) están directamente enlazadas al metal, formando un conjunto molecular incluso más estable que sus componentes iniciales. Es el caso, por ejemplo, de los productos que se forman al poner en contacto dos productos estables como  $\text{CoCl}_3$  y  $\text{NH}_3$ , para formar  $\text{CoCl}_3\cdot 6\text{NH}_3$  o el  $\text{CoCl}_3\cdot 5\text{NH}_3$ , que deben ser formulados correctamente como  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]_3^+\text{Cl}_3^-$  o  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_5]_3^+\text{Cl}_3^-$ , que presentan colores amarillo y púrpura respectivamente. Figura 77.

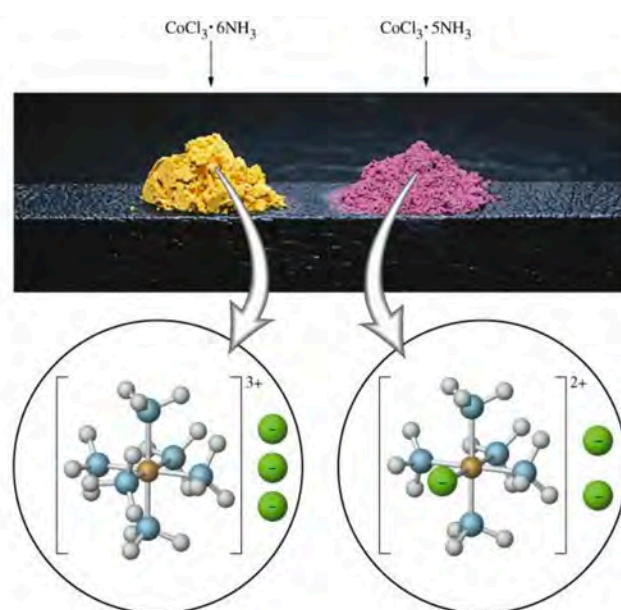


Figura 77. Color y estructura molecular del cobalto con ligandos

(Foto tomada del libro de Petrucci et. al., Pp:1070)

También demostró Werner que se originaban profundas consecuencias estereoquímicas si se hacía la suposición de que las moléculas o iones (ligandos) alrededor del metal ocupaban posiciones en los vértices de un cuadrado o de un octaedro. Werner, propuso que los átomos podían exhibir simultáneamente más de un tipo de valencia, publicando su teoría de la coordinación en 1893, por la que obtuvo el Premio Nobel en 1913. En sus conceptos fundamentales, esta teoría continúa vigente ya que permite explicar correctamente muchos de los aspectos estructurales de los *compuestos o entidades* de coordinación, como suelen denominarse en química inorgánica. El término también es utilizado para referirse a una enorme cantidad de estructuras inestables o metaestables que participan como intermediarias en diferentes reacciones; por lo cual es preferible utilizar siempre que se pueda un término más explicativo para referirse a estos compuestos. En este sentido el término complejo es mucho más amplio, pero menos preciso.

La química de los complejos tiene numerosas aplicaciones tanto teóricas como prácticas sirviendo, por ejemplo, para explicar cosas tan vistosas como el color de los minerales, la elaboración industrial de polímeros, pigmentos, vidrios incoloros y cromáticos o electro-depósitos de metales.

Como ya se ha expuesto con anterioridad, los átomos de los elementos metálicos tienen una clara tendencia a perder electrones para convertirse en iones con carga positiva (cationes), y esto es así porque en general poseen un radio atómico elevado en relación a la carga de sus núcleos, lo que facilita que sus electrones de valencia se desprendan con mucha facilidad. Al ser los electrones de valencia los corticales, que se encuentran a mayor distancia del núcleo, son los que menos atracción electrostática experimentan y, por lo tanto, son los que se desprenden con mayor facilidad.

Esto puede conducir a la idea de que los iones metálicos con carga positiva (cationes) deberían ser muy abundantes en la naturaleza. Sin embargo, los cationes metálicos rara vez se encuentran en estado libre porque al perder uno o más electrones su radio disminuye y su carga eléctrica aumenta. Un aumento en la relación carga/radio significa una disminución de la estabilidad termodinámica de una especie química. En general, los cationes metálicos poseen una relación carga/radio tan elevada que rápidamente interactúan con otros iones, átomos o moléculas, para adquirir una estructura que resulte termodinámicamente más estable, lo que suele coincidir con la estructura cortical del gas noble más próximo en la Tabla Periódica de los Elementos.

Es común en estas asociaciones que las moléculas o iones que otorgan estabilidad al catión central actúen como bases de Lewis, es decir, que al poseer uno o más pares de electrones no compartidos sean capaces de "inyectar" esos electrones en orbitales vacíos del catión para aumentar su estabilidad. Con mucha frecuencia el agente acomplejante suele ser el solvente donde se encuentran disueltos.

Una buena parte de las sales metálicas de los metales de los grupos principales y de transición en el Sistema Periódico se encuentran hidratadas. El agua de hidratación actúa como ligando que rodean al metal, enlazándose a través de un par electrónico no compartido del agua. Un ejemplo notable de este fenómeno son las sales de cobalto, que se utilizan para predecir el tiempo en algunos higrómetros elementales. En estos, el cobalto se encuentra coordinado por un número de moléculas de agua que cambia con la humedad ambiental, y este cambio en la coordinación del cobalto provoca un cambio en el color de la sal, de azul a rosado al aumentar la humedad y a la inversa. Es precisamente esta característica de la hidratación de algunos cationes, como es el caso del cobre, por ejemplo, la que origina distintas gamas de color en una misma sal según su nivel de hidratación, lo que modifica el modo de cristalización de la sal y por ello muestra distinto color.

La mayor parte de la química de complejos conocida trata de complejos formados por entidades de coordinación con núcleos de coordinación que son generalmente cationes metálicos, como ya se ha dicho, y de ahí la conveniencia de hacer referencia expresa en este trabajo, en el que se va a tratar de formar colores integrados en las superficies de algunos metales o en algunos de los componentes metálicos de una aleación (como son los bronce y latones).

Muchos científicos avanzaron en la investigación de los complejos, entre ellos Lewis con su Teoría de los Orbitales Moleculares, lo que permite explicar que una sustancia posee color cuando absorbe determinadas longitudes de ondas electromagnéticas comprendidas dentro del rango visible.

La absorción de determinadas longitudes de onda es debida, como ya se ha expuesto, a la transición entre dos estados energéticos de los electrones que forman los orbitales de un átomo, o los enlaces de una molécula. Cada electrón, según al orbital en el que se encuentre, puede absorber sólo determinadas cantidades de energía, debido a la naturaleza cuántica del orbital atómico o molecular que ocupa, según se expuso al tratar de los ensayos a la llama. Como la diferencia de energía entre dos niveles electrónicos es igual a la energía del fotón absorbido, es posible relacionar esta energía con la longitud de onda del fotón según:

$$E = h\nu$$

o lo que es lo mismo:

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

Donde:  $\Delta E$ = Diferencia de energía,  $h$ =constante de Planck,  $\nu$ = Frecuencia de la

onda,  $c$ = velocidad de la luz y  $\lambda$ =longitud de onda. Evidentemente  $v = c / \lambda$ .

Se ha visto que cada paso del electrón de una a otra órbita en el átomo absorbe determinada energía, equivalente a longitudes de onda de luz. Si el salto del electrón absorbe longitudes de onda dentro del rango visible (420 a 750 nm), entonces el compuesto, al ser iluminado con luz blanca, se ve coloreado; y precisamente del color complementario al color absorbido.

Los espectros de absorción muestran las longitudes de onda absorbidas por un ion metálico con diferentes ligandos, y por iones metálicos diferentes con el mismo ligando.

A partir de datos como estos es posible inferir la estructura de los orbitales denominados “ $d$ ” que intervienen en el complejo ya que permiten relacionar la energía de la luz absorbida con los valores de “ $d$ ” (diferencia de energía entre orbitales de alto y bajo espín). Surgen de aquí dos observaciones de interés:

- Para un ligando dado, el color depende del estado de oxidación del ion metálico. Así, por ejemplo, una disolución del ion  $[V(H_2O)_6]^{2+}$  es **violeta**, mientras que una disolución del ion  $[V(H_2O)_6]^{3+}$  es **amarilla**.
- Para un ion metálico dado, el color depende del ligando.

Estas dos observaciones permiten clasificar los ligandos en la serie espectroquímica, siendo posible establecer principios que faciliten la selección de compuestos químicos para dar distintos colores a los metales. De particular relevancia es la **serie espectroquímica de Tschusida** que ordena, para un catión metálico central, a los ligandos de menor a mayor energía de las transiciones que tiene un ligando en un complejo, según el grado de separación que produce en los orbitales tipo “ $d$ ”, lo que aporta un criterio sobre las sustituciones que pueden tener lugar en una solución de un compuesto de coordinación cuando se agregan otros ligandos:

$I^- < Br^- < S= < SCN^- < Cl^- < NO_3^- < N_3^- < F^- < OH^- < C_2O_4^{2-} < H_2O < NCS^- < CH_3CN < NH_3 < NO_2^- < CN^- < CO$

#### 2.5.2.5. Reacciones de productos químicos con los metales

Las siguientes tablas resultan interesantes por ser ejemplo de los colores que puede esperarse obtener al actuar sobre superficies metálicas con distinto productos químicos.

De la química tradicional, obtenida del seguimiento cualitativo de cationes

retenemos<sup>259</sup>, por el momento, la Tabla 29.

Adicionalmente a la química de complejos, se recoge<sup>260</sup> en la Tabla 30 coloraciones de algunos iones metálicos en distintos medios, y en la Tabla 31 el color de sales metálicas históricamente utilizadas en la producción de pigmentos.

CATION	REACTIVO	PRODUCTO DE REACCION	COLOR
<b>Ag+</b>	HCl	AgCl	<b>Blanco</b>
<b>Ag+</b>	KI	AgI	<b>Amarillo</b>
<b>As+++</b>	Mixtura magnésica (MgCl <sub>2</sub> , NH <sub>4</sub> Cl, NH <sub>3</sub> )	Ag	<b>Espejo</b>
<b>Ba++</b>	KCr <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	SO <sub>4</sub> Ba	<b>Blanco</b>
<b>Bi+++</b>	SnCl <sub>2</sub>	BiO	<b>Negro</b>
<b>Cd++</b>	K <sub>2</sub> S	CdS	<b>Amarillo</b>
<b>Co++</b>	KSCN	Complejo	<b>Azul</b>
	Único carbonato naranja	Co(OH) <sub>3</sub>	<b>Naranja</b>
<b>Cu++</b>	NH <sub>3</sub>	Cu(NH <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> <sup>++</sup>	<b>Azul</b>
<b>Fe+++</b>	KSCN	Complejo	<b>Rojo</b>
	KSCN	Complejo	<b>Azul</b>
	Único hidróxido pardo-rojizo	Fe(OH) <sub>3</sub>	<b>pardo-rojizo</b>
<b>Hg++</b>	HCl	precipita HgCl <sub>2</sub>	<b>Blanco</b>
	NH <sub>3</sub>	Precipita HgO	<b>Negro</b>
	Sobre moneda de cobre	HgO	<b>Negro</b>
<b>K+</b>	Cobaltonitrito sódico	Complejo	<b>Amarillo</b>
<b>Mg++</b>	Mg <sup>2+</sup> : Con magnesio da color azul.		<b>Azul</b>
<b>Mn++</b>	K <sub>2</sub> S	SMn	<b>Naranja</b>
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	En medio básico	NH <sub>3</sub>	<b>Olor</b>
	Reactivo de Nebler	Precipita	<b>Amarillo-naranja</b>
<b>Ni++</b>	Dimetilglioxima	Complejo	<b>Rojo</b>
	Sulfuros solubles en agua regia		
	Ni(OH) <sub>3</sub> único hidróxido de color verde		<b>Verde</b>
<b>Pb++</b>	IK	Precipita PbI <sub>2</sub>	<b>Amarillo</b>
	KCr <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	Precipita	<b>Amarillo</b>
<b>Sb+++</b>	Rodemina	Complejo	<b>Morado</b>
<b>Sn++</b>	Ensayo a la llama		<b>Azul</b>
<b>Zn++</b>	reactivos Montequi (A o B)	Precipita Complejo	<b>Verde</b>

Tabla 29. Colores de sales en Química Analítica

<sup>259</sup> [Consulta 26-01-2019]. Disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Marcha\\_analítica](https://es.wikipedia.org/wiki/Marcha_analítica).

<sup>260</sup> [Consulta 15-02-2019]. Disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Complejo\\_\(química\)#Coloración\\_de\\_los\\_complejos](https://es.wikipedia.org/wiki/Complejo_(química)#Coloración_de_los_complejos).

	Fe <sup>II</sup>	Fe <sup>III</sup>	Co <sup>II</sup>	Cu <sup>II</sup>	Al <sup>III</sup>	Cr <sup>III</sup>
<b>Ion hidratado</b>	[Fe(H <sub>2</sub> O) <sub>6</sub> ] <sup>2+</sup> Verde pálido Soluble	[Fe(H <sub>2</sub> O) <sub>6</sub> ] <sup>3+</sup> Amarillo/Marrón Soluble	[Co(H <sub>2</sub> O) <sub>6</sub> ] <sup>2+</sup> Rosado Soluble	[Cu(H <sub>2</sub> O) <sub>6</sub> ] <sup>2+</sup> Azul Soluble	[Al(H <sub>2</sub> O) <sub>6</sub> ] <sup>3+</sup> Incoloro Soluble	[Cr(H <sub>2</sub> O) <sub>6</sub> ] <sup>3+</sup> Verde Soluble
<b>OH<sup>-</sup>, diluido</b>	[Fe(H <sub>2</sub> O) <sub>4</sub> (OH) <sub>2</sub> ] Verde oscuro Forma precipitado	[Fe(H <sub>2</sub> O) <sub>3</sub> (OH) <sub>3</sub> ] Marrón Forma precipitado	[Co(H <sub>2</sub> O) <sub>4</sub> (OH) <sub>2</sub> ] Azul verdoso Forma precipitado	[Cu(H <sub>2</sub> O) <sub>4</sub> (OH) <sub>2</sub> ] Azul Forma precipitado	[Al(H <sub>2</sub> O) <sub>3</sub> (OH) <sub>3</sub> ] Blanco Forma precipitado	[Cr(H <sub>2</sub> O) <sub>3</sub> (OH) <sub>3</sub> ] Verde Forma precipitado
<b>OH<sup>-</sup>, concentrado</b>	[Fe(H <sub>2</sub> O) <sub>4</sub> (OH) <sub>2</sub> ] Verde oscuro Forma precipitado	[Fe(H <sub>2</sub> O) <sub>3</sub> (OH) <sub>3</sub> ] Marrón Forma precipitado	[Co(H <sub>2</sub> O) <sub>4</sub> (OH) <sub>2</sub> ] Azul verdoso Forma precipitado	[Cu(H <sub>2</sub> O) <sub>4</sub> (OH) <sub>2</sub> ] Azul Forma precipitado	[Al(OH) <sub>4</sub> ] <sup>-</sup> Incoloro Soluble	[Cr(OH) <sub>6</sub> ] <sup>3-</sup> Verde Soluble
<b>NH<sub>3</sub>, diluido</b>	[Fe(H <sub>2</sub> O) <sub>4</sub> (OH) <sub>2</sub> ] Verde oscuro Forma precipitado	[Fe(H <sub>2</sub> O) <sub>3</sub> (OH) <sub>3</sub> ] Marrón Forma precipitado	[Co(H <sub>2</sub> O) <sub>4</sub> (OH) <sub>2</sub> ] Azul verdoso Forma precipitado	[Cu(H <sub>2</sub> O) <sub>4</sub> (OH) <sub>2</sub> ] Azul Forma precipitado	[Al(H <sub>2</sub> O) <sub>3</sub> (OH) <sub>3</sub> ] Blanco Forma precipitado	[Cr(H <sub>2</sub> O) <sub>3</sub> (OH) <sub>3</sub> ] Verde Forma precipitado
<b>NH<sub>3</sub>, concentrado</b>	[Fe(H <sub>2</sub> O) <sub>4</sub> (OH) <sub>2</sub> ] Verde oscuro Forma precipitado	[Fe(H <sub>2</sub> O) <sub>3</sub> (OH) <sub>3</sub> ] Marrón Forma precipitado	[Co(NH <sub>3</sub> ) <sub>6</sub> ] <sup>2+</sup> Pajizo Soluble	[Cu(NH <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> (H <sub>2</sub> O) <sub>2</sub> ] <sup>2+</sup> Azul intenso Soluble	[Al(H <sub>2</sub> O) <sub>3</sub> (OH) <sub>3</sub> ] Blanco Forma precipitado	[Cr(NH <sub>3</sub> ) <sub>6</sub> ] <sup>3+</sup> Verde Soluble
<b>CO<sub>3</sub><sup>2-</sup></b>	FeCO <sub>3</sub> Verde oscuro Forma precipitado	[Fe(H <sub>2</sub> O) <sub>3</sub> (OH) <sub>3</sub> ] Marrón Forma precipitado Libera burbujas de CO <sub>2</sub>	CoCO <sub>3</sub> Rosado Forma precipitado	CuCO <sub>3</sub> Azul verdoso Forma precipitado		

Tabla 30. Ejemplos de colores de algunos complejos químicos

PRODUCTO QUIMICO	FORMULA	AMARILLO	AZUL	ROJO	VERDE	BLANCO	NEGRO	RECONOCIMIENTO
Monóxido de plomo	PbO	Amarillo						litargirio
Oxocloruro de plomo	PbOCl <sub>2</sub>	Amarillo						
Cromato de plomo	PbCrO <sub>4</sub>	Amarillo de cromo						
Ioduro de Plomo	PbI <sub>2</sub>	Amarillo						
Antimoniato de plomo	Pb <sub>2</sub> Sb <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	Amarillo Nápoles						Giallorino
Cromato de cinc	ZnCrO <sub>4</sub>	Amarillo de cinc						
Cromato de bario	BaCrO <sub>4</sub>	Amarillo limón						
Cromato de sodio	Na <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub>	Amarillo						
Cromato de estroncio	SrCrO <sub>4</sub>	Amarillo limón						
Cromato de sodio	Na <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub>	Amarillo limón						
Trisulfuro de arsénico	As <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	Amarillo anaranjado						Orpimente
Tetrasulfuro de arsénico	As <sub>4</sub> S <sub>4</sub>	Amarillo anaranjado						Rejalgar
Ioduro de plata	AgI	Amarillo						
Cloruro de Hierro (III)	FeCl <sub>3</sub>	Anaranjado						
Sulfuro de Cadmio	CdS	Amarillo						
Oxido de cadmio	CdO	Amarillo cadmio						
Sulfuro de estaño (III)	SnS	Amarillo						
Sulfato de cobre	CuSO <sub>4</sub>		Azul de Prusia claro					vitriolo de Venus
Carbonato de cobre	Cu <sub>2</sub> (CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>		Azul					Azurita
Estanato de cobalto	CoSnO <sub>3</sub>		Azul cerúleo					
Cloruro de cobalto	CoCl <sub>2</sub>		Violeta					
Aluminato de cobalto	CoAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub>		Azul de cobalto					
Permanganato de potasio	KMnO <sub>4</sub>		Violeta					
Manganato de bario	Ba(MnO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>		Azul de manganoso					
Aluminosilicato de Ca y Na	Na <sub>3</sub> Ca(Si <sub>3</sub> Al <sub>3</sub> O <sub>12</sub> S)		Azul ultramar					Lapiz/azu
sulfuro de mercurio	HgS			Bermellón				
Cromato básico de Plomo	Pb <sub>2</sub> CrO <sub>5</sub>			Rojo de cromo				
Ferrocianuro potásico	K <sub>4</sub> Fe(CN) <sub>6</sub>			Rojo				
Tetróxido de plomo	Pb <sub>3</sub> O <sub>4</sub>			Rojo de plomo				Mintio, Masicoté
Sulfuro de mercurio	HgS			Rojo brillante/Naranja				Cinabrio
Dicromato de potasio	K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>							
Arsenito de cobre	Cu <sub>3</sub> AsH <sub>3</sub> O <sub>3</sub>				Verde de Scheele			
Acetoarsenito de cobre	Cu <sub>3</sub> As <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Cu <sub>4</sub> (C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> O <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>				Verde esmeralda			
Trióxido de cromo	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>				Verde			
Nitrato de Cobre (II)	Cu(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>				Verde			
Hidróxido de níquel	Ni(OH) <sub>2</sub>				Verde			
Cloruro de níquel	NiCl <sub>2</sub>				Verde			
Oxido de cromo	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>				Verde esmeralda/Viridian			
Sulfato de bario	BaSO <sub>4</sub>					Blanco		Baritina
Cloruro de plata	AgCl					Blanco		
Dicromato de bario	BaCr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>					Blanco		
Oxido de cinc	ZnO					Blanco de cinc		Estalerita
Carbonato cálcico	CaCO <sub>3</sub>					Blanco		Calcita
Carbonato de bario	BaCO <sub>3</sub>					Blanco		Witherita
Oxido de Titanio	TiO <sub>2</sub>					Blanco de titanio		
Carbonato básico de plomo	Pb <sub>3</sub> (OH) <sub>2</sub> (CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>					Blanco de plomo		Albávalde
Oxido de manganeso	Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>						Negro	
Oxido de Bismuto	Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub>						Negro	
Sulfuro de potasio	K <sub>2</sub> S						Negro	Higado de azufre
Sulfuro de níquel	NiS						Negro	

Tabla 31. Colores de sales de metales

## 2.6. Velocidad de reacción

Es conveniente, por último, apuntar el concepto de velocidad de reacción y señalar los factores que le afectan.

La transformación de una o varias sustancias en otra, u otras distintas, constituye una reacción química. Las sustancias que se transforman y desaparecen se denominan sustancias reaccionantes, y las que se originan productos de reacción.

La menor o mayor rapidez con la que se transforma una sustancia reaccionante cualquiera, o bien se forma uno de los productos de reacción, viene expresada por la denominada velocidad de reacción. La transformación química puede comprenderse si las moléculas de las sustancias o bien, caso de ser sólidas, las unidades materiales diferenciadas que la constituyen, poseen suficiente energía cinética (de traslación, oscilación y vibración) para que los enlaces entre sus átomos estén muy debilitados llegando incluso a romperse, originándose entonces nuevos enlaces y, en consecuencia, nuevas sustancias<sup>261</sup>.

La **velocidad de reacción** de una transformación química cualquiera depende de varios factores, entre ellos de la naturaleza de las sustancias reaccionantes, su concentración, de la superficie de contacto y de la temperatura, magnitud esta última que siempre aumenta la velocidad de reacción porque aumenta la energía cinética de los choques moleculares. Sin embargo, no todas las reacciones químicas obedecen en igual grado a la temperatura, porque la velocidad de reacción también depende del mecanismo estequiométrico que tenga lugar, lo que de modo gráfico se visualiza en la pendiente de la línea que representa la conocida ecuación de Arrhenius [relacionada con la colisión entre moléculas], que constituye una buena aproximación también para analizar la velocidad de reacción, tanto en reacciones homogéneas [tienen lugar solo en una fase] como heterogéneas [corresponden a dos fases: una sólida y otra líquida, por ejemplo, que es el caso que nos ocupa, por la interfase entre la receta hidrolizada que es líquida con un metal sólido al que se ataca], que es de tipo exponencial [ $k = e^{-E/RT}$ ], en la que E representa la denominada energía de activación de la reacción y T la temperatura. Las reacciones con E elevadas resultan ser muy sensibles a la temperatura, y viceversa.

Muchas reacciones químicas se producen mejor con la presencia de determinados **catalizadores**, que son sustancias extrañas que aparentemente no intervienen en el proceso, pero que sí facilitan el que se produzca la reacción. Los mecanismos por los que actúan los catalizadores son diversos, pero aún no se han encontrado la esencia que facilite su explicación científica.

En el caso que nos ocupa, de dar color a un metal, como es dar pátina a un metal o una aleación como el bronce, que es muy estable, su calentamiento será un factor

---

<sup>261</sup> Babor, J.A., Ibarz, J. *Química General Moderna*. Ed. Marín: Barcelona, 1964. Pp.283-286, ISBN: 8471029979.

importante a la hora de conseguir que determinados productos químicos le ataquen, produciéndose sustancias simples y/o complejas en las que los componentes de la aleación intervengan. Algunos de los propios componentes del bronce, principalmente su contenido en cobre, u otras sustancias en pequeñas cuantías, pueden facilitar el proceso catalizando determinadas reacciones deseadas. Pero es importante tener presente que el aumento de temperatura suele aumentar la velocidad de reacción, pero en algunas ocasiones puede destruir algún producto de reacción. Es el caso cuando se produce carbonato ( $\text{CuCO}_3$  o  $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$ , malaquita<sup>262</sup>) de color verde, que al calentarse desprende  $\text{CO}_2$  y se produce óxido de cobre ( $\text{CuO}$  o tenorita<sup>263</sup>) de color negro, predominando este color. En estos casos debe evitarse, o controlarse, la aplicación de calor si no se desea que el color verde desaparezca. Esta es una de las razones que subyacen en aquellas patinas que se recomiendan hacer en frío, como se verá.

### 2.6.1. Estabilidad de los productos de reacción: Pasivación

Los productos de reacción permanecen y se generan mientras se den las condiciones en las que exista una velocidad de reacción positiva. Para anular esta velocidad de reacción, hay que reducir la concentración o incluso eliminar las sustancias reaccionantes, suprimir el catalizador en su caso, y disminuir la temperatura del proceso. De ahí que las pátinas se den, en buena medida, calentando el metal base para aumentar la velocidad de reacción y que se puedan producir productos químicos con color en los que participen los iones de los metales que constituyen la aleación, afectando en el resultado la composición específica de la aleación.

Los productos de reacción, distintos a las sustancias reactivas, pueden ser de una naturaleza bien distinta a la de los componentes presentes en la aleación de metal sujeto al proceso de pátina y ser sensibles a la humedad y oxidación o carbonatación derivado del medio ambiente. Por ello es importante, una vez conseguida la coloración deseada, proceder a paralizar la reacción disminuyendo la temperatura y retirando mediante lavado las sustancias reaccionantes distintas del propio metal base que ha adquirido pátina, dejándolo enfriar para proceder a su pasivación, impidiéndose así que progresen reacciones indeseadas. Esta pasivación se realiza mediante un encerado superficial del metal, o por aplicación de alguna laca o resina neutra, aplicada generalmente en frío, y cuidando que la temperatura del metal no sea en ningún caso superior al punto de evaporación de la cera, laca o resina protectora aplicada. De este modo se asegura la durabilidad del color obtenido

---

<sup>262</sup> La malaquita es un carbonato hidratado de cobre que cristaliza en el sistema monoclinico. Es el mineral secundario de cobre más común.

<sup>263</sup> La Tenorita es un óxido de cobre que se produce en la intemperie o en zonas oxidadas relacionadas con los yacimientos primarios más profundos de sulfuros de cobre.

si esta protección no 'encierra' un entorno de la pátina en el que la humedad, o algún otro producto de reacción, siga su propia dinámica reactiva. Por esto es importante no realizar la pasivación antes de dejar un tiempo razonable para asegurar que se eliminan estos productos indeseables, generalmente por aireación o secado con algún gas inerte.

## 2.7. Aspectos de seguridad

La necesidad de medidas de seguridad a la hora de aplicar color a los metales implica el uso de productos químicos que reaccionen con los componentes de las aleaciones metálicas de la obra sometida a este tipo de acabado. Esta operación en general se hace, como se ha puesto de manifiesto, a alta temperatura para acelerar procesos de descomposición de sales metálicas y también de ácidos fuertes, muy perjudiciales para la salud si no se realizan en condiciones adecuadas. Su práctica a la intemperie, o en locales muy ventilados es una necesidad. Además de realizar estas operaciones al aire libre o en circulación, deben utilizarse gafas de protección ya que la aplicación de un líquido sobre una superficie caliente produce evaporaciones a veces violentas que conllevan salpicaduras a alta temperatura, por lo que la utilización de guantes de cuero y de mandiles o batas de protección, son también firmemente recomendadas.

En algunos procesos, como por ejemplo la producción de nitrato de hierro, se producen vapores de óxido de nitrógeno muy irritantes si se respiran, por lo que deben usarse máscaras específicas o tomar las precauciones de lejanía para evitar accidentes (Figura 78). En otras

ocasiones, particularmente cuando se utilicen productos químicos en forma de polvos de baja granulometría, se requieren el uso de mascarilla para evitar la respiración de las partículas que siempre forman nubes en su manipulación.

El empleo de soluciones concentradas de ácidos fuertes (fluorhídrico, sulfúrico ...),



Figura 78. Medidas de seguridad

nítrico, clorhídrico, fosfórico.) siempre pueden producir salpicaduras, particularmente cuando necesitan diluirse en agua. SIEMPRE debe verterse el ácido sobre el agua y no al contrario, además de hacerse este vertido muy lentamente porque la dilución del ácido suele ser violenta, con fuerte calentamiento de la solución al tratarse de reacciones exotérmicas. El empleo de medios de protección personal (guantes, pantallas que cubran la cara, además de mascarillas específicas para evitar respirar los vapores que se producen en los casos del ácido clorhídrico o nítrico, por ejemplo, son absolutamente imprescindibles, al igual que realizar la operación en lugar con una correcta ventilación. Todo derrame debe ser tratado, en la medida de lo posible con una base fuerte (Hidróxido sódico o potásico) o bicarbonato sódico por ser este último fácilmente manejable. Los hidróxidos fuertes requieren también similares precauciones que los ácidos fuertes ya que concentrados producen serias quemaduras en la piel.

Estas medidas conviene generalizarlas como prevención, y muy especialmente con productos como el amoníaco o el ácido acético glacial, ambos con fuerte olor y carácter tóxico. La ventilación es particularmente necesaria.

La higiene, particularmente de las manos, tras la manipulación de sales orgánicas e inorgánicas como las que se manejan o se producen en los procesos de aplicación y generación de color sobre distintos soportes es así mismo una necesidad.



### 3. INVESTIGACION APLICADA: COLORACION DE METALES

Para la elaboración de esta investigación, una vez definido el programa de trabajo y centrados los objetivo a abordar, se ha optado por la formación de un laboratorio elemental dotado con los siguientes elementos básicos:

1. Productos químicos, tales como los recogido en la citada Tabla 27. No todos los productos químicos necesarios se han encontrado en el mercado, por lo que se ha abordado en diversos casos la producción de algunos de ellos mediante reacciones químicas específicas, Figura 79. Combinaciones de estos productos son utilizados para elaborar las recetas, Figura 80.



Figura 79. Producción de recetas químicas



Figura 80. Elaboración de recetas químicas

- Material básico de vidrio, tales como: vasos de precipitación, matraces Erlenmeyer, balones, cristales de reloj, varillas de agitación, pipetas calibradas, frascos de cristal con tapa, etc. La Figura 81 muestra una parte del almacenamiento de recetas usadas, que unas se mantienen a temperatura ambiente y otras en nevera para minimizar la evaporación de los productos más volátiles, particularmente en los meses más calurosos.



**Figura 81. Material vario y recetas**

- Balanza de precisión, agitador magnético, mechero Bunsen, decapador de aire caliente, sopletes de gas propano, termómetro láser y de mercurio, rejillas de calentamiento, trípodes de soporte, morteros cerámicos, crisoles cerámicos.
- Celda electrolítica alimentada con una fuente de corriente continua con control variable de tensión e intensidad. Esta celda se utiliza para conseguir electrodeposición de metales con un doble objetivo: obtener polvos de metales para ser utilizados en cargas de soportes y realizar pruebas de recubrimiento directo sobre soportes. Figura 82.



**Figura 82. Celda electrolítica**

- Material fotográfico. En concreto se han utilizado dos cámaras: una 'reflex' marca CANON modelo 550D con espejo y otra sin espejo con formato 'full frame' marca SONY modelo 7Alfa II. Ambas permiten dejar constancia del trabajo realizado y de los colores generados en las probetas en distinto

momentos de la investigación para constatar la evolución del color y su alterabilidad/inalterabilidad temporal antes de aplicar tratamientos de pasivación.

- Probetas de variada tipología:
  - **Probetas de metal**, en formatos 3 x 6,5 cm. o similares, a las que se ha practicado un orificio con un útil específico preparado (Figura 83.a) que permita su almacenamiento en paneles- expositores de madera 60 x 40 cm. realizado para tal fin. Los metales elegidos son: Bronce (forforoso), Cobre, Latón (amarillo), Zinc, Hierro<sup>264</sup> y Aluminio. Todas las probetas han sido troqueladas con una letra (B, C, L, Z, F o A, según cada metal o aleación) y un número identificativo y correlativo para su identificación. (Figura 83.b).

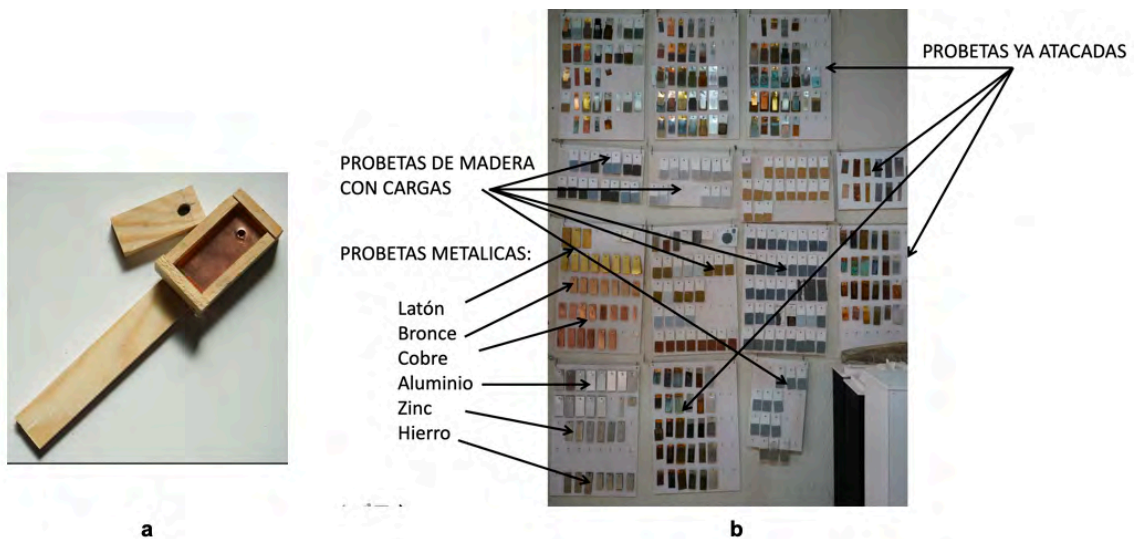


Figura 83. Útil para taladrar y probetas varias en paneles

<sup>264</sup> Acero al carbono. Solo excepcionalmente acero inoxidable.

- **Probetas de madera**, en formatos 4 x 6 cm. o similares y espesor aproximado de 5 mm. Todas estas probetas se han imprimado por ambas caras con dos manos de Gesso Primer de Talens aplicadas con paletina o rodillo (Figura 84) antes de cualquier manipulación posterior.



**Figura 84. Proceso de imprimación de probetas de madera**

Sobre una de las caras de estas probetas se han aplicado cargas de polvos de metal: bronce, cobre, latón, zinc, hierro y aluminio. En algunos casos limitados, también de grafito en polvo para hacer que la probeta sea conductora de la corriente eléctrica, lo que es imprescindible para su utilización en la celda electrolítica.

A todas las probetas de madera se les ha realizado, al igual que las de metal, un taladro y marcado con troquel con la letra identificativa del metal de carga. Las letras marcadas van acompañadas en este caso de un subíndice indicativo del procedimiento utilizado para aplicar la carga metálica. Así, la letra 'P' debe interpretarse como incorporación en masa homogénea del polvo de metal con la materia aglutinante (gesso, resina alquídica, poliéster ...), mientras que la letra 'S' corresponde a la adición de la carga por espolvoreado sobre el aglutinante en húmedo y previamente aplicado.

Se han realizado pruebas para dar cargas de polvo de metal con diversos procedimientos, habiéndose retenido los siguientes:

1. Capa de gesso aplicada con paletina de pelo suave y, en húmedo, espolvoreado en exceso con polvo de metal tamizado, presionando con otra probeta seca y limpia para asegurar la correcta penetración del polvo metálico en la capa de gesso. Se deja secar en horizontal con exceso de polvo de metal que, una vez seco, se elimina y recupera el polvo sobrante tras el correspondiente tamizado para evitar grumos.
2. Capa de resina (alquílica y poliéster), procediéndose de modo similar al punto anterior. Figura 85.



**Figura 85. Aplicación de cargas de bronce**

3. Capa de pintura metálica comercial, disponible solo de bronce y de cobre. La primera contiene polvo de bronce en suspensión con resina alquílica a la que debe agregarse endurecedor y catalizador. La de cobre tiene un aglomerante acuoso, sin catalizador. En ambos casos la proporción aglomerante-polvo de metal se ha obtenido por medición de peso y volumen, habiéndose deducido una proporción aproximada de 1:3 en ambos casos.

Se han realizado pruebas preparando mezclas de resina de poliéster-polvo de bronce con proporciones en peso 1:7-8 y 1:3, doblando la cantidad de catalizador, y aplicando la suspensión resultante en capa fina con pincel, y posterior alisando con espátula, con buen resultado y mejor que con las pinturas comerciales, particularmente cuando se aumenta la proporción de polvo de metal – resina por encima de 1:5 para facilitar la operación de lijado a la hora de aflorar el grano metálico. La Figura 86 muestra como acepta la pátina, aplicada con pincel, la probeta B53 de madera con carga de polvo de bronce tras su lijado y decapado químico.



Figura 86. Resultado sobre probeta de madera

- **Probetas de tejidos**

Se han utilizado fundamentalmente tejidos de fibra natural (lino y algodón) disponibles en el mercado con imprimación de Gesso, cortados en formatos 10 x 10 cm., de los que se han empleado dos superficies aproximadas de 8 x 4 cm. sobre las que se han aplicado cargas metálicas con idéntico procedimiento que el empleado en probetas de madera. La Figura 87 muestra el proceso seguido, debiendo apuntarse que la probeta de madera con polvo de bronce mostrada anteriormente en la Figura 86 ha sido sometida, antes de la aplicación de la correspondiente receta química, a tratamiento previo según se recoge en el siguiente apartado.



**a**



**b**

**a.** Toma de pintura de bronce con rodillo

**b.** Aplicación a 12 probetas de lienzo

**c.** Resultado tras secado



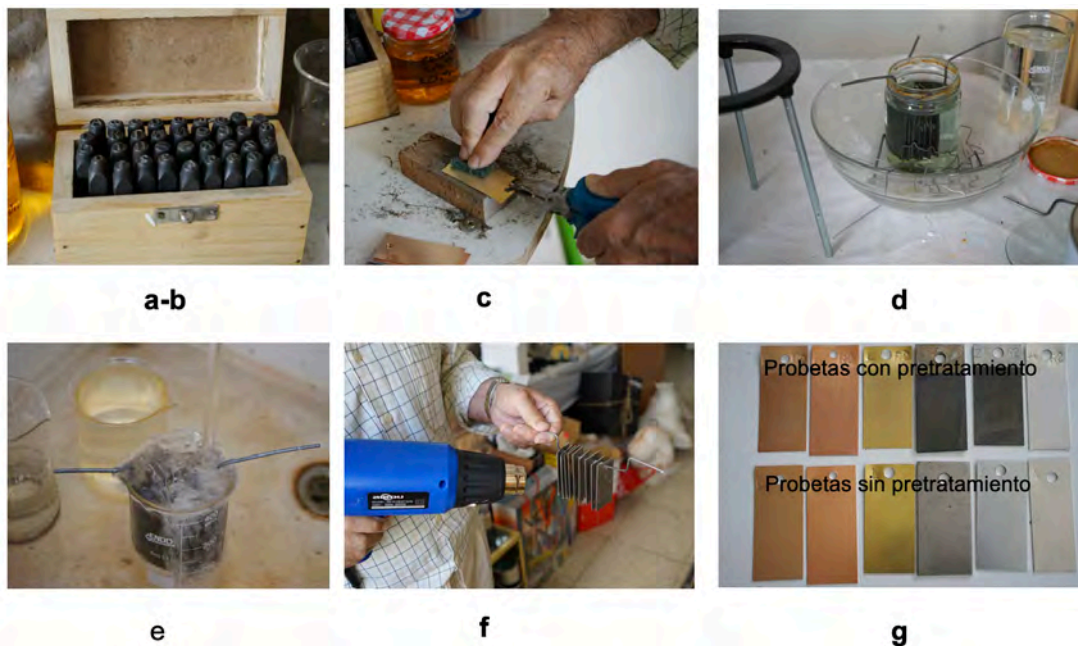
**c**

Figura 87. Preparación de probetas de tejido de fibra natural

### 3.1. Tratamientos previos

A partir de este momento, entenderemos como probeta cualquier soporte rígido o flexible que presente en una de sus caras una lámina de metal o una carga suficientemente uniforme y sujeta a su soporte como para ser sometida a procesos de lijado, suave o medio, para hacer aflorar sin recubrimiento alguno partículas del metal de carga.

Las probetas de metal, conformadas a partir de chapa tras el proceso de fundición, están generalmente recubiertas de una capa microscópica de óxidos de los metales que intervienen en la aleación, por lo que deben eliminarse al igual que los aceites y grasas adheridos durante su fabricación. Por ello, es imprescindible someter las probetas a las siguientes operaciones, Figura 88:



**Figura 88. Proceso de pretratamiento de probetas**

- a. Punzonado para identificar cada probeta de modo permanente. Figura 88.a y 88.b.
- b. Desengrasado con soluciones tensoactivas o surfactantes, como son los eficaces detergentes aniónicos (Wix, KH7...) o los disolventes orgánicos como el percloroetileno ( $C_2Cl_4$ ) o el etanol. Otro método alternativo consiste en la aplicación de una solución concentrada de hidróxido sódico o potásico en caliente para saponificar los ácidos grasos. En todo caso, es necesario el lavado profundo de las probetas para eliminar cualquier resto de detergente o de solución alcalina.
- c. Lijado. El grado de lijado puede afectar de manera importante al color resultante de la aplicación de una receta química. Un grano grueso tiende a oscurecer el resultado final, mientras que una superficie pulimentada hace que los colores sean más claros y transparentes, pero con menor adherencia. Por esta razón, debe prestarse atención a la calidad del acabado superficial. El

tratamiento de la superficie puede llevarse a cabo con grata (cepillo con hilo de bronce), papel lija de carborundo (SiC) de grano fino (>600), Scotch-Brite verde o gris para dejar el grano de metal al descubierto. También puede emplearse polvos finos de piedra pómez y/o de carbón vegetal. Figura 88.c.

- d. Decapado químico con una solución de ácido fuerte<sup>265</sup>, mordiente. En la Tabla 32 se recogen algunas recetas de soluciones decapantes con distinto nivel de reactividad, controlando el tiempo mínimo necesario de la probeta en el baño, que será de 5 a 10 segundos. Figura 88.d.
- e. Lavado profundo con chorro de agua para eliminar cualquier resto de ácido y proteger de este modo la propia probeta. Figura 88.e.
- f. Secado natural al aire libre o con aire caliente forzado para acelerar la disponibilidad de la probeta. Figura 88.f. Es conveniente proceder a la aplicación de la pátina en el menor tiempo posible para evitar la contaminación de la superficie de metal.

PRODUCTO QUIMICO	REACCION MODERADA			REACCION MEDIA			REACCION ELEVADA		
	Mordiente	Mordiente	Mordiente	Abrillanta	Abrillanta	Abrillanta	Satina	Satina	Satina
AGUA	90%	90%	6%	57%	33%	40%	59%	77%	75%
Sodio Cloruro						0,2%			
Nitrico Acido	10%			29%	33%	24,8%	12%	8%	
Potasio Nitrato			36%						
Clorhídrico Acido			6%						
Fluorhídrico Acido						35%	6%		
Sulfúrico Acido		10%	51%	14%	33%		23%	15%	25%

Tabla 32. Soluciones decapantes

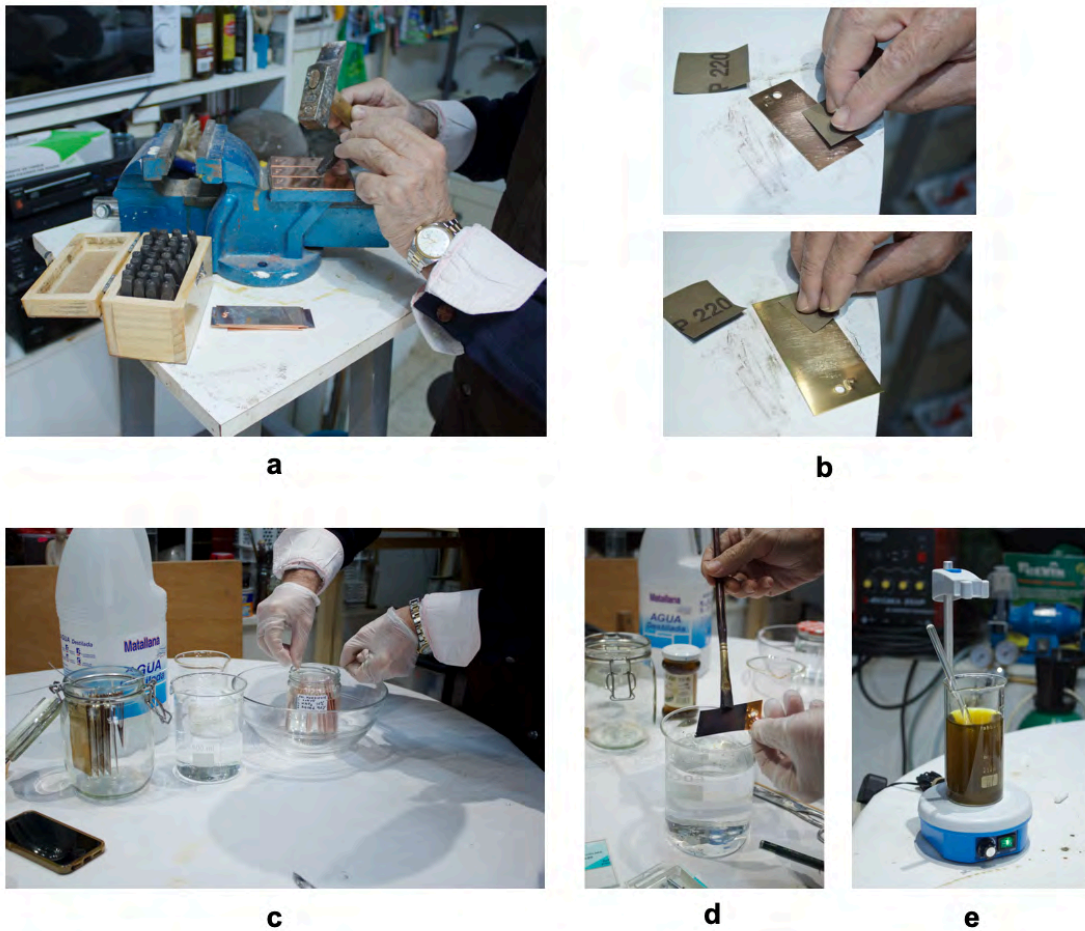
La profundidad del decapado puede regularse por el tiempo de inmersión de la probeta en la solución ácida, o por aplicación con paletina de cerda sintética sobre la superficie a tratar, por la composición y concentración de la solución ácida decapante, y también controlando la temperatura del baño. Debe recordarse la necesidad de echar **el ácido sobre el agua**, y no al revés, ya que se pueden producir quemaduras por salpicadura, al margen de tener en cuenta que las mezclas agua - ácidos fuertes son reacciones exotérmicas que aumenta este riesgo. Por ello, hay que verter el ácido sobre el agua muy lentamente, con protección con guantes y pantalla protectora en el rostro, mejor que gafas, además de bata para evitar quemaduras por salpicaduras.

<sup>265</sup> Acido fuerte es aquel que en solución acuosa se ioniza por completo para ganar electrones y liberar protones según el esquema:  $HA(aq) \rightarrow H^+(aq) + A^-(aq)$

La Figura 88.g muestra un conjunto de probetas metálicas antes y después del pretratamiento, pudiendo observarse como cambia el color ligeramente en algunas (cobre y sus aleaciones) y de modo apreciable en aquellos metales que resisten menos la acción del ácido decapante (zinc y hierro). En las probetas de aluminio no se aprecia el efecto del ataque del ácido nítrico, pero realmente se produce una reacción que elimina el óxido de aluminio ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ) que protege su superficie siempre que éste tenga un  $\text{pH} < 4$ , pudiendo también realizarse con soluciones alcalinas con  $\text{pH} > 9$ , ya que el óxido de aluminio es estable en el rango de  $\text{pH}$  4-9.

En determinados casos, puede ser de interés aplicar una *patina de base* específica con el objetivo de facilitar las reacciones químicas posteriores y/o aumentar la adherencia de los productos de reacción, generadores del color, sobre la superficie de las probetas. En este sentido, se han preparado once probetas, numeradas del 20 al 30, de cada uno de los metales (bronce, cobre, latón, zinc, y hierro), sometiéndolas a las citadas operaciones de punzonado (Figura 89.a), desengrasado, lijado a mano con papel del número 200 (Figura 89.b), las caras reversas de las probetas, con objeto de observar el comportamiento del metal cuando no se lija (las probetas de Bronce, Cobre y Latón presentan la cara delantera pulida o muy lisa) en comparación con la cara que se lija. Todas las probetas así tratadas se introducen, por lotes del mismo material, en solución decapante suave (10%  $\text{NO}_3\text{H}$  en agua destilada) (Figura 89.c), procediéndose a su lavado con agua destilada tras el baño mordiente (Figura 89.d) y se secan con aire caliente.

Se prepara una solución al 2,5% de  $\text{SK}_2$  en agua destilada, disolviéndose con agitación magnética los cristales de sulfuro de potasio (Figura 89.e).

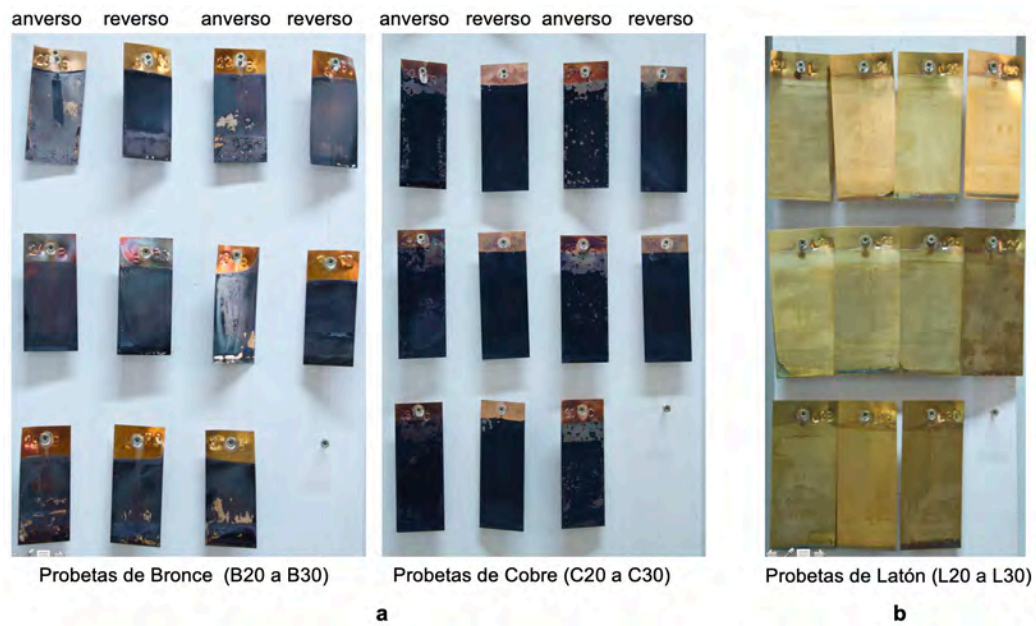


**Figura 89. Proceso de aplicación de pátina base**

Los lotes de cada material se introducen en la solución de sulfuro de potasio a temperatura ambiente ( $18^{\circ}\text{C}$ ) con objeto de provocar la reacción del agente químico con los distintos metales, observándose que cada metal reacciona de distinto modo: el bronce y el cobre toman un color negro intenso con carácter temporal casi inmediato, sacándose del baño a los 10"-15". Seguidamente se lavan al chorro para frenar la reacción del sulfuro de potasio sobre el metal. Posteriormente se lavan en agua destilada ayudado con una brocha sintética plana para limpiar lo mejor posible todo resto de sulfuro. De este ensayo se observan los siguientes hechos:

- a. Que cambia la textura de la pátina por el lado pulido respecto al lado lijado: la Figura 90.a muestra las probetas así tratadas, que se han colgado alternando la cara vista anterior (pulida)-posterior(lijada)-anterior-posterior... y así sucesivamente, detectándose que la adherencia de la pátina sobre el metal pulido es muy inferior a la correspondiente de probeta lijada.

- b. El latón prácticamente no reacciona, por lo que se mantiene en la solución de sulfuro de potasio 5 minutos. Se saca de la solución y se lava con agua destilada y al chorro (Figura 90.b).



**Figura 90. Probetas de Bronce, Cobre y Latón con pátina base de  $SK_2$**

- c. Se hace similar operación con una sola probeta de Zinc, Hierro y Aluminio, observándose muy baja reacción en general, particularmente en la de aluminio (Figura 91).



**Figura 91. Probetas de Zinc, Hierro y Aluminio con pátina base de  $SK_2$**

Una singularidad que conviene tener presente en el tratamiento previo de las probetas de tela es que debe cuidarse, a la hora de su decapado químico, el no impregnar la parte trasera, porque al no tener aparejo alguno, le puede afectar negativamente tanto la solución ácida decapante como el agua de lavado.

### 3.2. Color real con recetas seleccionadas

Se ha desarrollado un amplio trabajo para aplicar cada receta histórica seleccionada a probetas de metal para el que las referencias bibliográficas recomiendan su uso. En el inicio de estas operaciones ya se observó que con frecuencia el color que se obtenía no corresponde con el de referencia citado en las fuentes bibliográficas, por lo que se optó por aplicar cada receta al conjunto de probetas de los seis metales elegidos: Bronce, Cobre, Latón, Zinc, Hierro (acero al carbono y puntualmente acero inoxidable) y Aluminio. El Estaño no es frecuente utilizarlo como metal directo, pero interviene en algunas aleaciones, por lo que se ha utilizado solamente como carga en pocas probetas de madera y con alguna receta aislada.

En las Figuras 92 a 118 se han clasificado las probetas tratadas por grupos de colores de referencia de las recetas históricas originales. Puede observarse que existe, como se acaba de apuntar, una frecuente e importante discrepancia entre el color que reportan las fuentes originales y la realidad del color que se obtiene sobre el metal para el que dicha fuente apunta que es de aplicación. La Figura 119 recoge los resultados de aplicar las recetas japonesas.

Con la excepción de algunas recetas referidas solo al cobre (Probetas 150-174) o al hierro (Probetas 214-245), cada fila de los paneles corresponde a una receta química específica, pudiéndose observar que la composición del metal tratado con la receta modifica con frecuencia el color que se deriva de las reacciones que tienen lugar entre los productos químicos que la componen y los elementos químicos que conforman la estructura del metal atacado. Es normal que así ocurra porque cada metal reacciona de distinto modo al ataque con una receta de composición establecida.

Esta metodología de trabajo permite disponer de una valiosa base de datos para su análisis a la hora de seleccionar recetas válidas y proceder a la formulación de nuevas recetas, ya sea por ajuste de la composición de las existentes, o por formulación *ex novo*, lo que puede realizarse teniendo en cuenta las importantes contribuciones que aporta la Química sobre muchos de los conceptos tratados en el resumen teórico incluido en los **epígrafes 1 y 2**.

Indicar que al inicio de los trabajos se trató de aplicar las pátinas tradicionales tanto a probetas de metal como de madera con cargas de polvo de metal. Por

esta razón puede observarse que en los primeros paneles coinciden a veces ambos tipos de probetas, en la parte trasera de cada posición se encuentra la de madera y encima la probeta de metal, ambos con la misma identificación. Al no haber trabajado suficientemente en un principio el modo de dar las cargas de metal a las probetas de madera, se decidió centrar inicialmente el trabajo en las probetas de metal y abordar las de madera una vez conocido el efecto de las recetas sobre las probetas de metal, ya que en definitiva son los metales los protagonistas principales de la formación de color al reaccionar con los componentes de las recetas.



Figura 92. Panel con probetas 1-5



Figura 93. Panel con probetas 6-11



Figura 94. Panel con probetas 11-19

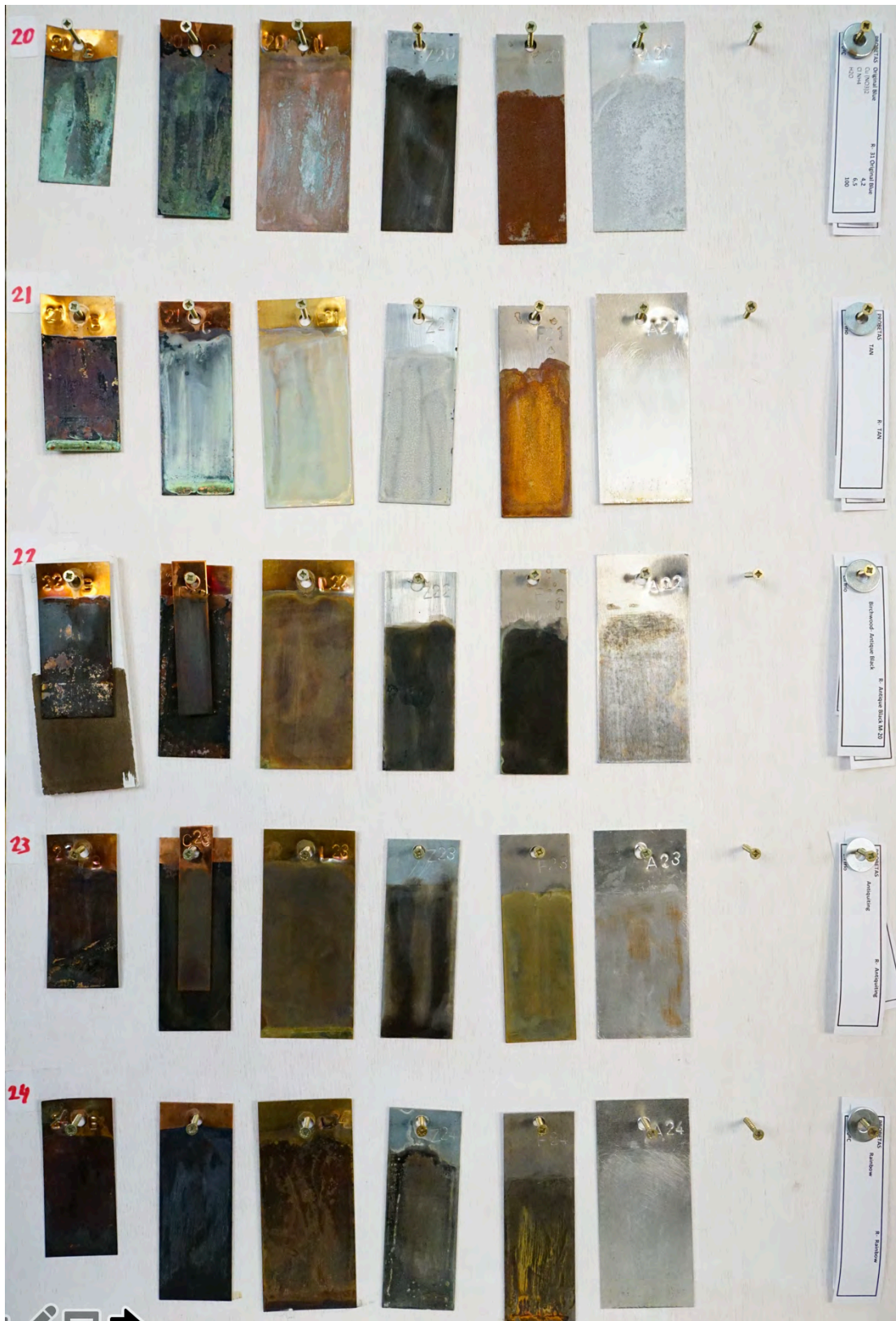


Figura 95. Panel con probetas 20-24



Figura 96. Panel con probetas 25-29



Figura 97. Panel con probetas 30-34



Figura 98. Panel con probetas 35-38\*



Figura 99. Panel con probetas 39-43



Figura 100. Panel con probetas 44-48



Figura 101. Panel con probetas 49-53



Figura 102. Panel con probetas 54-59



Figura 103. Panel con probetas 60-64

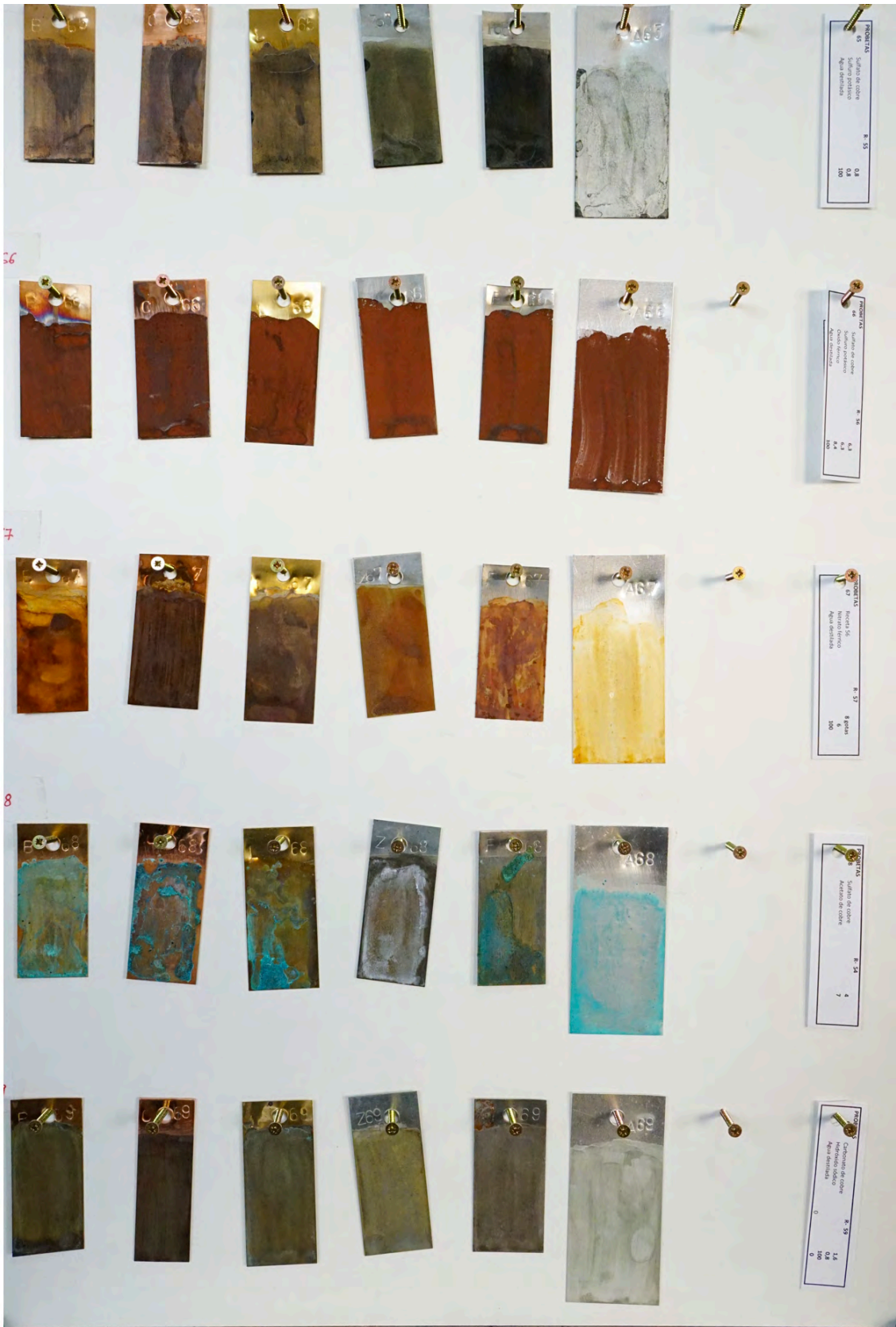


Figura 104. Panel con probetas 65-69



Figura 105. Panel con probetas 70-74

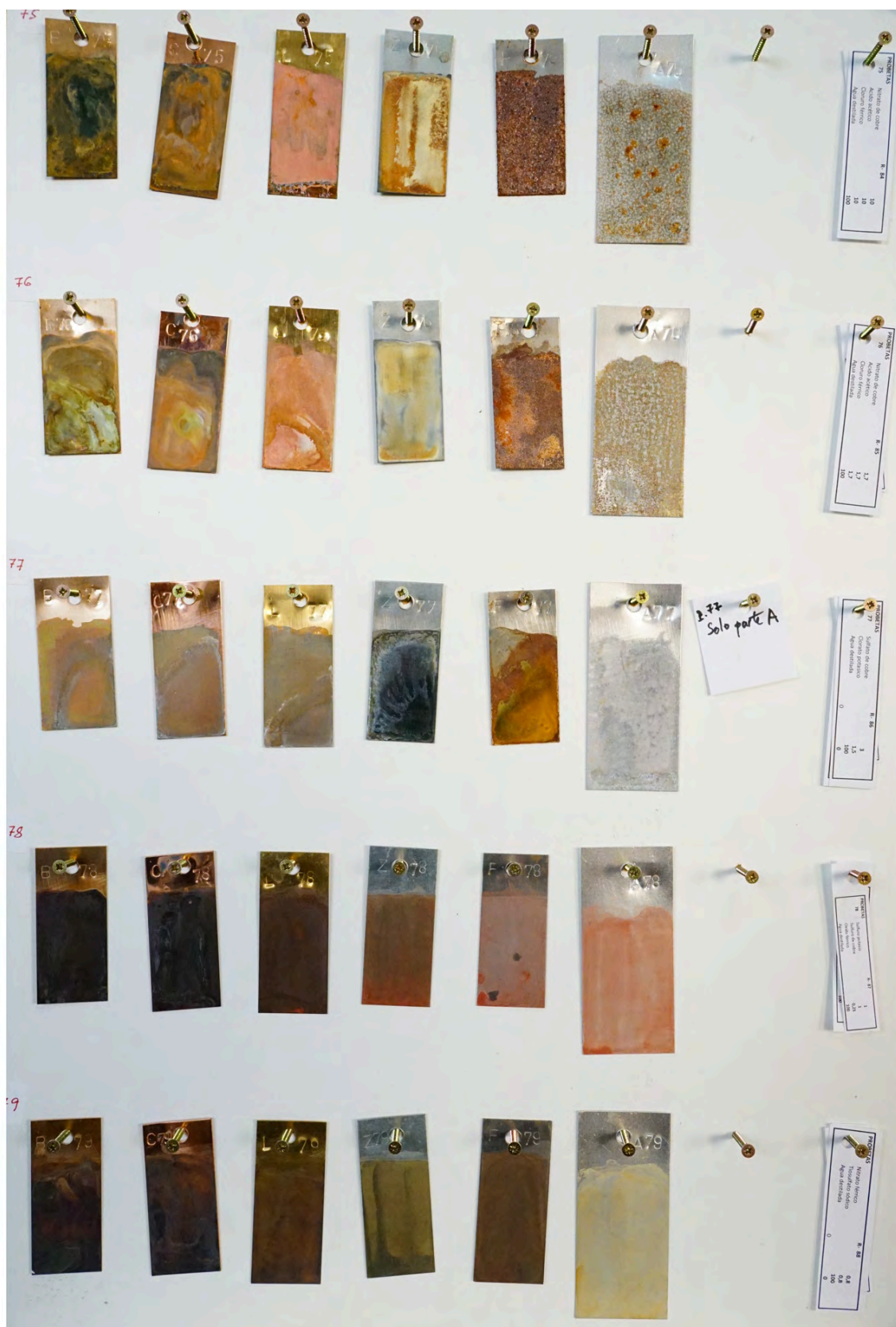


Figura 106. Panel con probetas 75-79

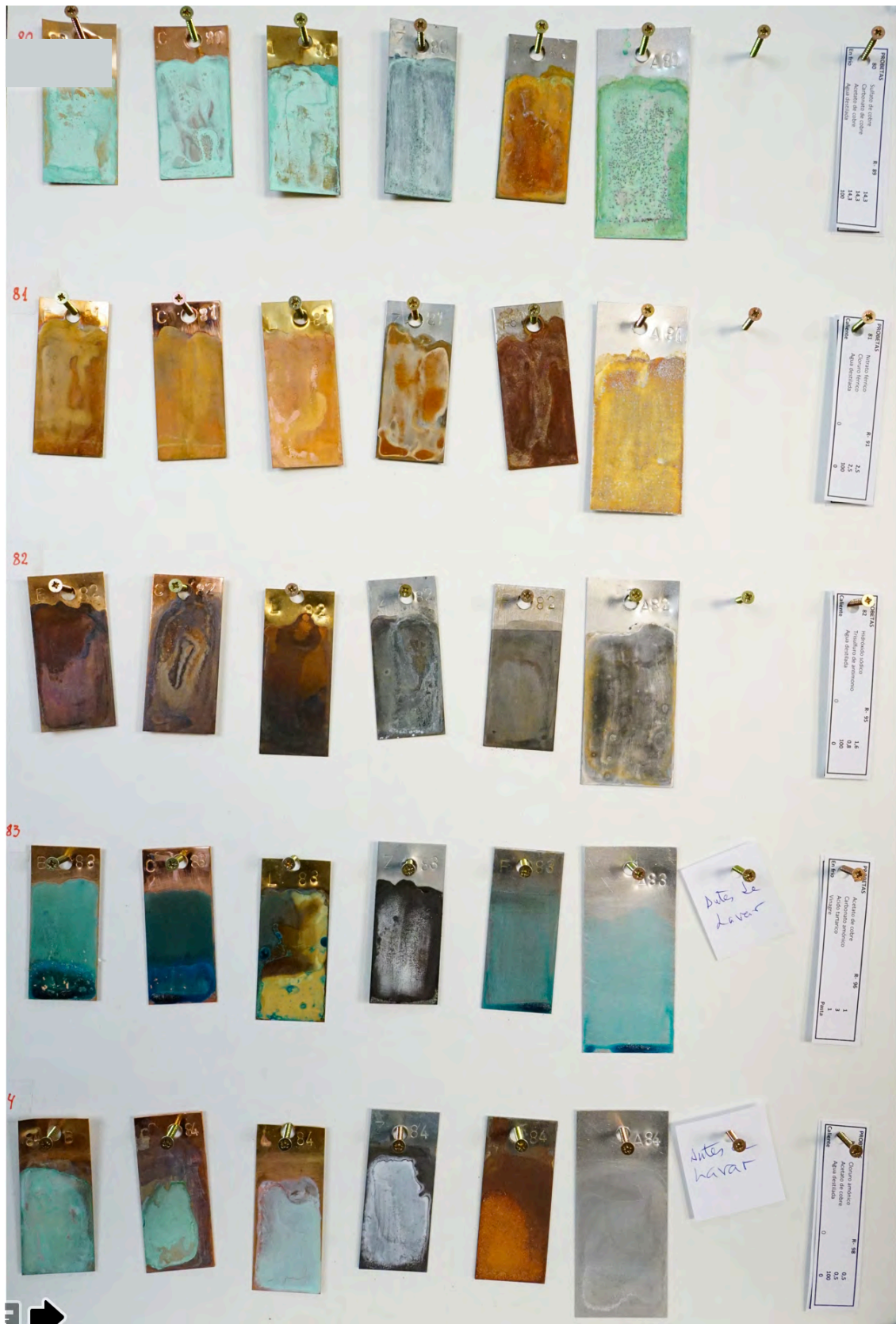


Figura 107. Panel con probetas 80-84



Figura 108. Panel con probetas 85-89



Figura 109. Panel con probetas 90-94

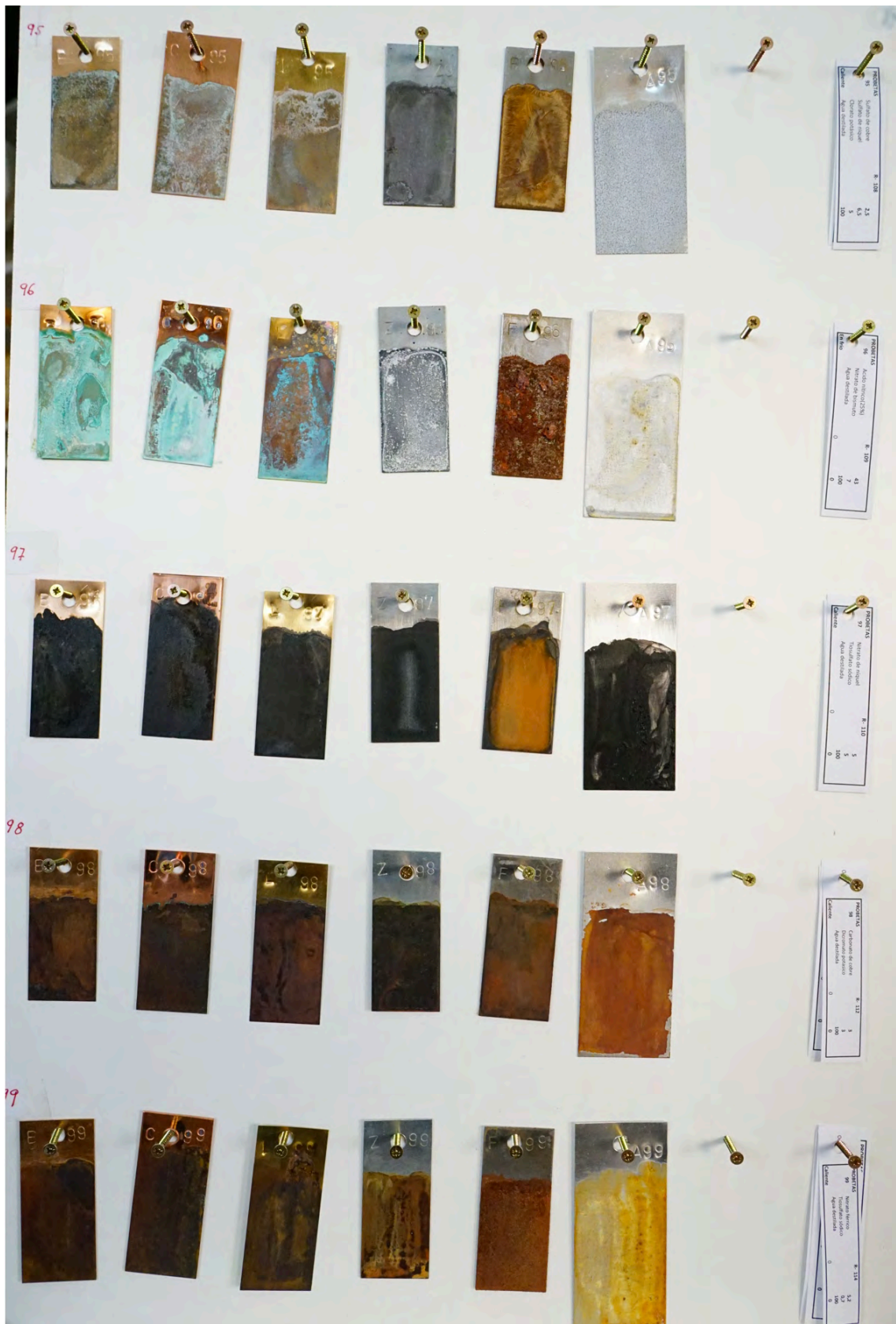


Figura 110. Panel con probetas 95-99



Figura 111. Panel con probetas 100-104

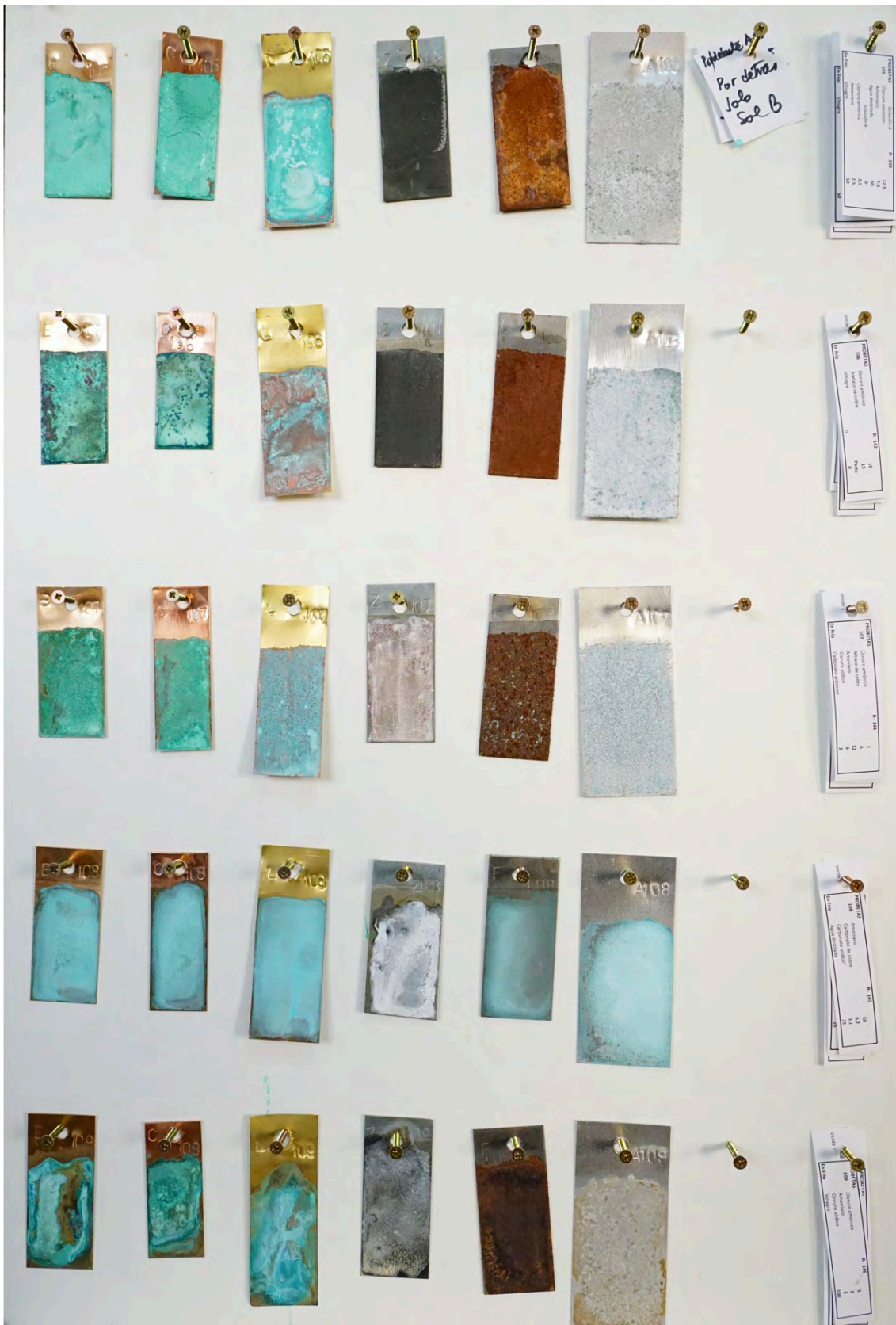


Figura 112. Panel con probetas 105-109

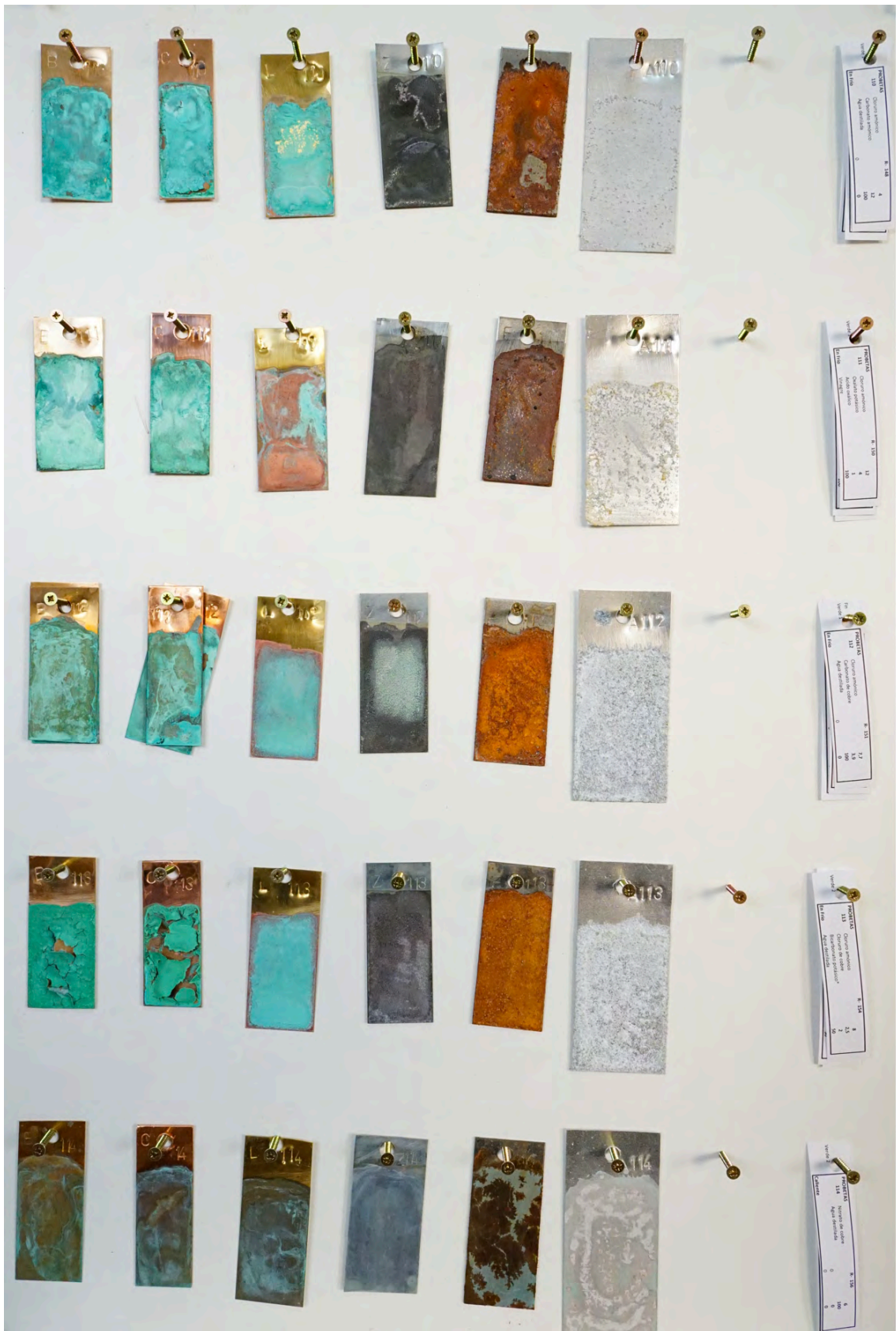


Figura 113. Panel con probetas 110-114



Figura 114. Panel con probetas 115-119 y 00



Figura 115. Panel con probetas 200- 220

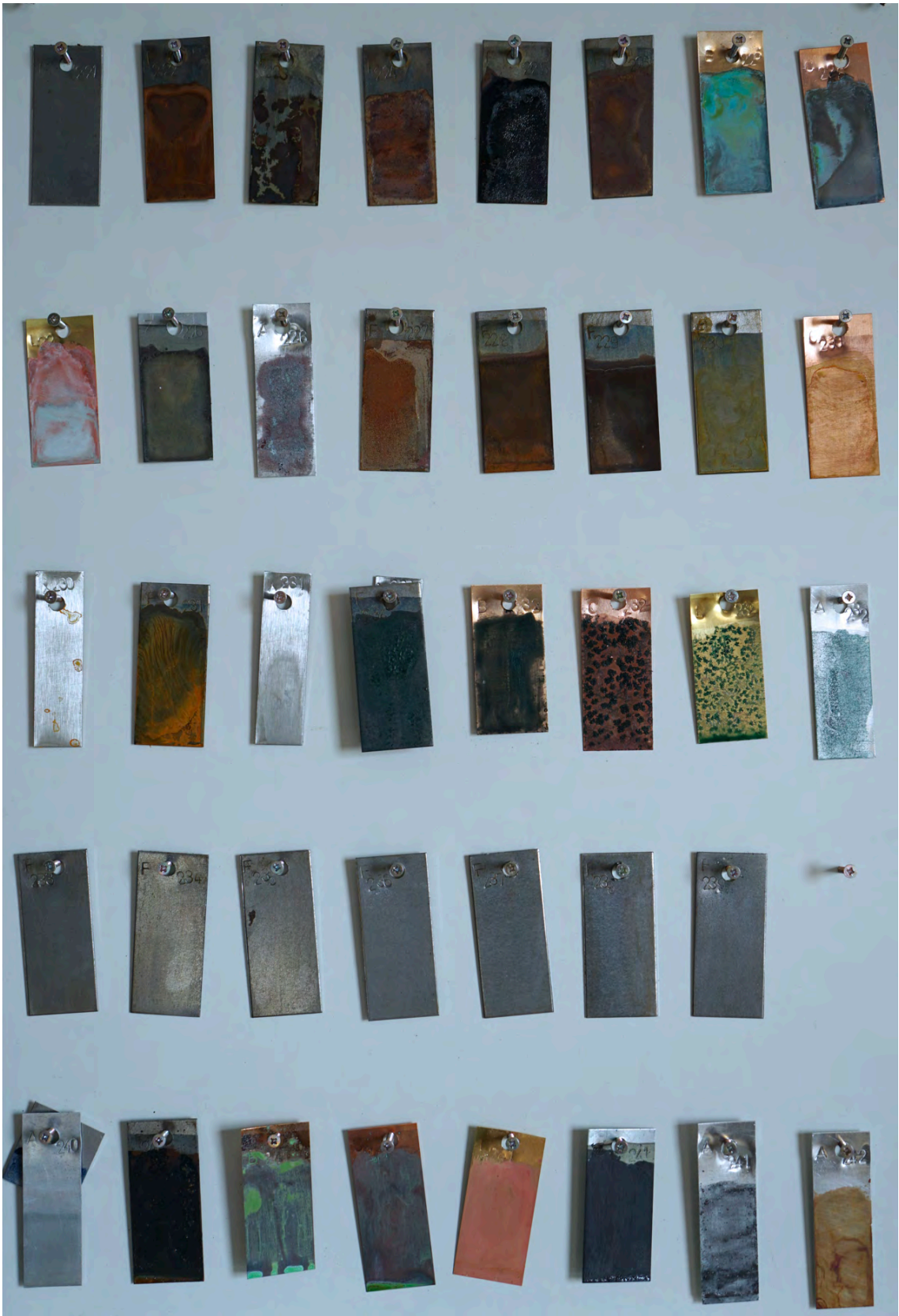


Figura 116. Panel con probetas 221-242



Figura 117. Paneles con probetas 243-503



Figura 118. Panel con probetas 450 - 468



Figura 119. Panel de probetas con recetas japonesas

### 3.2. Clasificación de las recetas históricas por colores

Las probetas y sus recetas se han clasificado por gamas de color reportadas en las fuentes originales en las Tablas 33 a 56. Esta clasificación, aunque deba centrarse a la hora de su análisis en el metal de referencia de cada receta, aporta una valiosa información sobre los colores que realmente produce cada receta histórica en otras probetas de metal distinto al de referencia.

El análisis de los resultados pone de manifiesto la elevada falta de coherencia entre la realidad obtenida y la que cabría esperar, fruto posiblemente del ocultismo que siempre ha acompañado a las pátinas a lo largo de la historia, y también por obedecer muchas de ellas a composiciones obtenidas por métodos empíricos basados exclusivamente en una metodología de prueba y error, con reducido o nulo respaldo científico por desconocimiento del comportamiento de la materia a la hora de formular las recetas químicas.

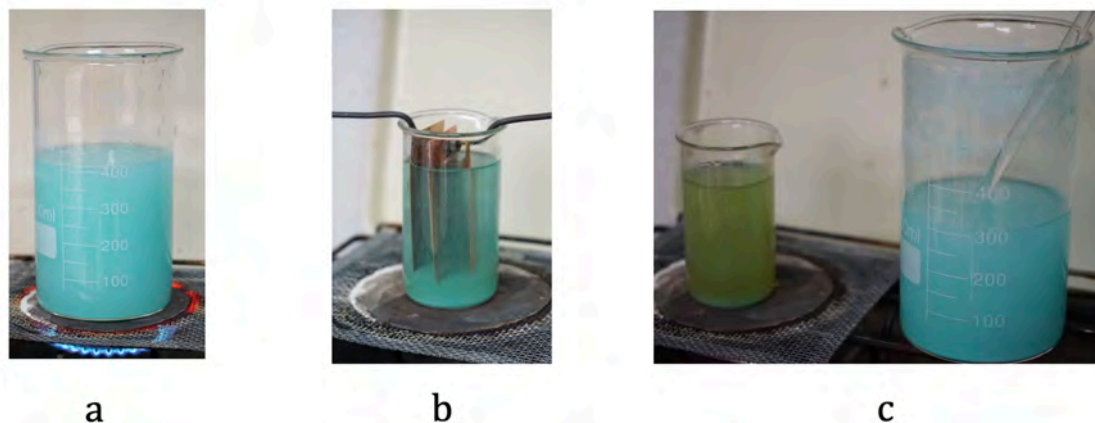
No se ha querido dejar al margen, por su singularidad, procedimientos que se remontan al siglo IXX a.C., ampliamente utilizados en la antigüedad por metalurgistas en Japón, que aprendieron este arte de los egipcios y chinos, y que se han conservado hasta nuestros días. En aquella época, el cobre del que disponían tenía distintas impurezas, entre ellas arsénico, oro, plata y otros metales. En consecuencia, las aleaciones de cobre que producían incluían en su composición todos estos elementos. Eso dio lugar a que perfeccionasen, con el paso del tiempo, aleaciones de cobre que contienen entre 1-5 % en peso de oro, 1-2 % de plata, 0,5% -1% de arsénico y a veces pequeños porcentajes de hierro y estaño<sup>266</sup>. Es habitual denominar a este tipo de aleaciones japonesas que contienen metales nobles como oro y plata 'Shakudo' y 'Shibuichi'. Términos que significan literalmente 'Oro negro' y 'Un Cuarto' respectivamente<sup>267</sup>, por el contenido en el segundo caso de una cuarta parte de su peso en plata. Así mismo, existe la aleación 'kuromido', hecha con cobre y hasta un 10% de arsénico. Los procedimientos de producción de estas aleaciones se han mantenido en secreto hasta que en 1781 se publica un tratado técnico de siete volúmenes bajo el título 'Shoken Kisho' que dedica el volumen quinto a materiales y técnicas japonesas para el tratamiento de metales.

---

<sup>266</sup> Giunlia-Mair, *The Enkomi cup: niello vs kuwano*. Ponencia nº11 en: V. Kassianidou and G. Pappasavvas, eds. 2012. *Eastern Mediterranean Metallurgy and Metalwork in the Second Millennium B.C. A conference in honour of James D. Muhly*. Nicosia, 10-11th October 2009. Oxford and Oakville: Oxbow Books. Pp.107-116.

<sup>267</sup> Oguchi, H. *Japanese Shakudo. Its History, Properties and Production from Gold-Containing Alloys*. *Gold Bull.*, 1983,16, (4). Pp.125.

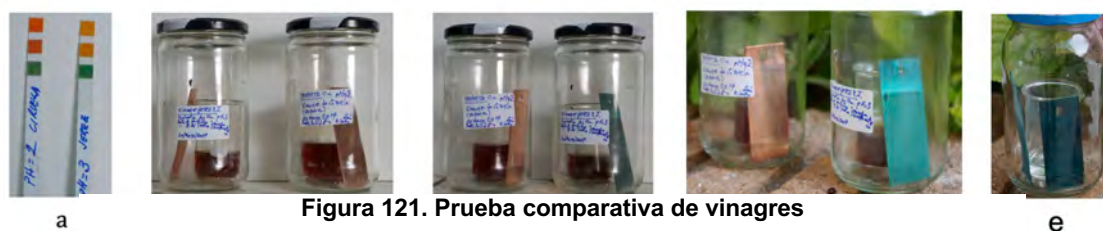
Este tipo de aleaciones se coloreaban mediante técnicas que se basan en una receta secreta denominada Rokusho, que distintos análisis químicos recientes apuntan a las



**Figura 120. Etapas del proceso de trabajo con recetas japonesas**

composiciones de la Tabla 57, que se ha tratado de reproducir mediante las mezclas de productos que se identifican en algunos trabajos de investigación, cuya referencia figura en la propia tabla elaborada. La Figura 120 muestra parcialmente el proceso de elaboración y aplicación de la solución Rokusho.

Uno de los ingredientes que se emplean en la fase final es vinagre de ciruela, del que se ha estudiado su acidez y nivel de reactividad respecto a un vinagre de Jerez (Pedro Jiménez). En concreto, la acidez del vinagre de ciruela es ligeramente superior al de Jerez, pero su reactividad para formar acetato de cobre sobre una probeta en recinto cerrado es prácticamente nula en relación al de Jerez. La Figura 121.a muestra el pH de ambos vinagres y la evolución del ataque de sus vapores a probetas de cobre en el



**Figura 121. Prueba comparativa de vinagres**

momento de cerrar los recintos (Figura 121.b), a las 24 horas (Figura 121.c), y transcurrida una semana (Figura 121.d), observándose una estabilización en la formación de 'verdigris' (acetato de cobre) por su color en la probeta sometida a los vapores del vinagre de Jerez, mientras que la otra no ha sido atacada durante las siguientes semanas que se ha mantenido en observación. Se hizo asimismo una prueba poniendo dos probetas (Cobre y Bronce) en vapores de ácido acético glacial, apareciendo 'verdigris' en pocas horas. (Figura 121.e). No obstante, se ha utilizado en estas pruebas el vinagre de ciruela por respetar la receta tradicional japonesa.

Las recetas Rokusho conducen a aleaciones coloreadas en negro, azul, marrones rojizos o violeta, dependiendo del modo de aplicarlo y de las aleaciones utilizadas. Uno de los tratamientos previos incluye el frotamiento de la pieza con rábano blanco (*Raphanus sativus longipinatus*) que por su carácter alcalino impide que la pátina tienda a perder lustre<sup>268</sup>, lo que no se ha utilizado ni probado en estos ensayos.

---

<sup>268</sup> Talma, M. *The application of black-patinated alloys in the Eastern Mediterranean: technology and technology transfer*. Master of Arts, Hoogeveen (Netherlands): July 2015. Pp. 72.

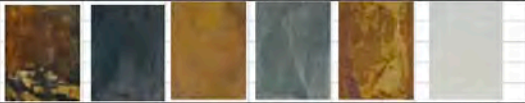
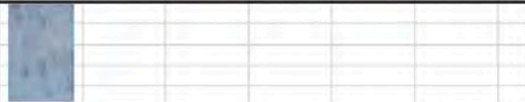
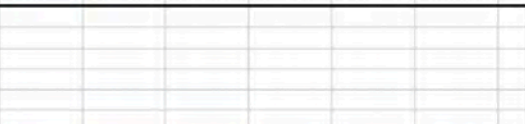



				BRONCE	COBRE	LATON	ZINC	HIERRO	ALUMINIO	
PROBETA	25	White Bshmath (sin agitación)	R- White Bshmath	Color Ref.		BLANCO				
				Fuente						
	100°C									
PROBETA	142	Nitrato de Bismuto Dióxido de Titanio Agua destilada	R- 3 2,1 ml. de sólido 2,1 ml. de sólido 100	Color Ref.		BLANCO				
				Fuente		RYF.B.58				
	120°C			Pág.231						
PROBETA	143	Cloruro de Bismuto Agua destilada	R- 4 .53 ml. de sólido 100	Color Ref.		BLANCO				
				Fuente		RYF.B.58				
	120°C			Pág.232						
PROBETA	144	Sulfato de cobre Cloruro de sodio Agua destilada	R- 5 1,5 ml. de sólido 3,2 ml. de sólido 100	Color Ref.		BLANCO				
				Fuente		RYF.B.59				
	70-90°C		0	Pág.230						
PROBETA	145	Nitrato de Bismuto Dióxido de titanio Silice coloidal Agua destilada	R- 6 5,4 gr. 5,4 gr. 0,8 g. 100	Color Ref.		BLANCO				
				Fuente		CP.B.17				
	Caliente			Pág. 72						
PROBETA	200	Nitrato de Bismuto Agua destilada	R- 380 9 100	Color Ref.		BLANCO				
				Fuente		INT.F.6				
	Caliente			n.d.						

Tabla 33. Colores resultantes con recetas reportadas para BLANCO


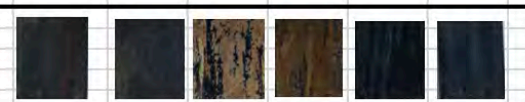
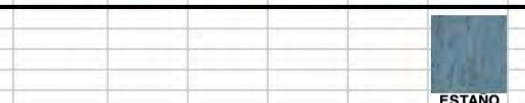
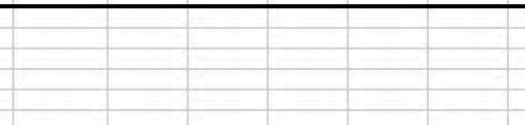
PROBETA	240	Sulfato de cobre Chatarra de cinc Agua destilada	R- 444 3 23,2 100	Color Ref.		GRIS				
				Fuente		RYF. A.4				
	Ebullición			Pág. 66						
PROBETA	245	Cloruro de hierro Ferrocianuro potásico Agua destilada	R- 460 45,7 45,7 100	Color Ref.		GRIS				
				Fuente		RYF. Z.2				
	En frío			Pág.249						
PROBETA	247	Sulfato de cobre Acido nítrico Agua destilada	R- 462 0,25 0,75 100	Color Ref.		GRIS				
				Fuente		RYF. E.1				
	F/C			Pág.249						
PROBETA	250	Acido clorhídrico Agua destilada	R- 465 400 100	Color Ref.		GRIS				
				Fuente		RYF. Pb.1				
	En frío			Pág.250						

Tabla 34. Colores resultantes con recetas reportadas para GRIS

				BRONCE	COBRE	LATON	ZINC	HIERRO	ALUMINIO
<b>PROBETA</b>	13-60	R- 13	<b>Color Ref.</b> NEGRO						
16 = 221	Tiosulfato de sodio	0,7	Fuente						
	Nitrato de hierro	5	CP.B.12						
	Agua destilada	100	Pág. 66						
60°C									
<b>PROBETA</b>		R- Pretratamiento	<b>Color Ref.</b> NEGRO						
17	Sulfuro potásico ( K <sub>2</sub> S)	2,5	Fuente						
	Agua destilada	100							
90°C									
<b>PROBETA</b>		R- Antique Black M-20	<b>Color Ref.</b> NEGRO						
22	Birchwood- Antique Black		Fuente						
En frío									
<b>PROBETA</b>		R- 14	<b>Color Ref.</b> NEGRO						
28	Nitrato Férrico	1,2	Fuente						
	Sulfuro potasio	1,2	CP.B.13						
	Sulfuro amónico		Pág. 66						
70-80°C	Amoniaco	3							
<b>PROBETA</b>		R- 16	<b>Color Ref.</b> NEGRO						
30	Hidróxido sódico	1,5	Fuente						
	Trisulfuro de Antimonio	0,4	RYF.B.17						
	Agua destilada	100	Pág.212						
70-80°C									
<b>PROBETA</b>		R- 20	<b>Color Ref.</b> NEGRO						
34	Cu (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	4,2	Fuente						
	Cl NH <sub>4</sub>	6,5	M.LL.17						
	H <sub>2</sub> O	100	Pág. 157						
En Frío									
<b>PROBETA</b>		R- 9	<b>Color Ref.</b> NEGRO						
36	Carbonato de cobre	0,6	Fuente						
	Bicarbonato amónico	1,2	RYF.B.37						
	Bicarbonato de sodio	0,3	Pág.219						
Caliente	Agua destilada	100							
<b>PROBETA</b>		R- 10	<b>Color Ref.</b> NEGRO						
38	Nitrato férrico	5	Fuente						
	Sulfuro de potasio	5	RYF.B.36						
	Agua	100	Pág.218						
En Frío	Dicromato sódico	2,5							
<b>PROBETAS</b>		R- 10	<b>Color Ref.</b> NEGROS						
38 bis	Nitrato férrico	5	Fuente						
A	Sulfuro de potasio	5	RYF.B.36						
	Agua	100	Pág.218						
B	Cloruro férrico	10							
	Amoniaco	10							
En Frío	Agua destilada	100							
<b>PROBETA</b>		R- 10	<b>Color Ref.</b> NEGRO						
39	Nitrato férrico	5	Fuente						
	Sulfuro de potasio	5	RYF.B.36						
	Agua	100	Pág.218						
En Frío									

Tabla 35. Colores resultantes con recetas reportadas para NEGROS (I)

<b>PROBETA</b> 40	Cloruro férrico Ferrocianuro potásico Agua destilada	R- 22	20 3 30	<b>Color Ref.</b> NEGRO Fuente M.J.L.8 Pág. 151	
<b>En Frío</b>					
<b>PROBETA</b> 43	Acido Fosfórico Acido fluorhídrico Agua	R- 25	10 1 100	<b>Color Ref.</b> NEGRO Fuente CP.B-Cu-L 0	
<b>En Frío</b>					
<b>PROBETA</b> 44	Sulfuro de potasio Hidróxido de sodio Agua destilada	R- 15	1 0,25 100	<b>Color Ref.</b> NEGRO Fuente RYF.B.39 Pág.221	
<b>Caliente</b>					
<b>PROBETA</b> 45	Carbonato de cobre Cloruro amónico Agua destilada Vinagre	R- 17	2,4 2,4 10 0,8	<b>Color Ref.</b> NEGRO Fuente M.J.L.19 Pág. 159	
<b>Caliente</b>					
<b>PROBETA</b> 150	Cloruro amónico Sulfato de cobre Agua destilada	R- 301	10 0 100	<b>Color Ref.</b> NEGRO Fuente RH.C.24 3.80	
<b>Caliente</b>					
<b>PROBETA</b> 151	Amoniaco Sulfuro de potasio Agua destilada	R- 302	10 12,5 100	<b>Color Ref.</b> NEGRO Fuente RH.C.28 3.95*	
<b>En Frío</b>					
<b>PROBETA</b> 152	Hidróxido sódico Persulfato potasico Agua destilada	R- 303	2,5 1 100	<b>Color Ref.</b> NEGRO Fuente RH.C.27 3.93**	
<b>Caliente</b>					
<b>PROBETA</b> 201	Acido nítrico Hidróxido sódico Dicromato sódico Agua destilada	R- 385	0,75 6,5 1 100	<b>Color Ref.</b> NEGRO Fuente RYF.F.12 Pág.254	
<b>Ebullición</b>					
<b>PROBETA</b> 202	Hidróxido sódico Nitrate potasico Agua destilada	R- 386	60 23 100	<b>Color Ref.</b> NEGRO Fuente RYF.F.13 Pág.254	
<b>Ebullición</b>					
<b>PROBETA</b> 203	Acido nítrico Hidróxido sódico Dicromato sódico Agua destilada	R- 387	0,75 6,5 1 100	<b>Color Ref.</b> NEGRO Fuente RYF.F.15 Pág.255	
<b>En Frío</b>					

Tabla 36. Colores resultantes con recetas reportadas para NEGROS (II)

<b>PROBETA</b> 204	Sulfato de cobre Acido nítrico Metanol	R- 388	20 40 100	<b>Color Ref.</b> NEGRO Fuente RYF.F.13 Pág.254	
<b>En Frío</b>					
<b>PROBETA</b> 205	Carbonato de cobre Carbonato de sodio Bicarbonato amónico	R- 389	0,64 0,09 0,36	<b>Color Ref.</b> NEGRO Fuente INT.F.10 n.d.	
<b>En frío</b>	Agua destilada		100		
<b>PROBETA</b> 207	Carbonato de cobre Carbonato de sodio Bicarbonato amónico	R- 391	0,64 0,09 0,36	<b>Color Ref.</b> NEGRO Fuente INT.F.10 n.d.	
<b>En Frío</b>	Agua destilada		100		
<b>PROBETA</b> 230	Dicromato potásico Dicromato sódico Agua destilada	R- 430	1 1 100	<b>Color Ref.</b> NEGRO Fuente RYF. Inox.1 Pág.250	
<b>En frío</b>					
<b>PROBETA</b> 231	Acido oxálico Agua destilada Sulfuro sódico	R- 431	1. Sol.10% 2. lavar 3. Sol. 1%	<b>Color Ref.</b> NEGRO Fuente RYF. Inox.2 Pág.250	
<b>En frío</b>					
<b>PROBETA</b> 232	Dicromato potásico Acido sulfúrico Agua destilada	R- 432	25 90 100	<b>Color Ref.</b> NEGRO Fuente RYF. Inox.3 Pág.251	
<b>Caliente</b>					
<b>PROBETA</b> 241	Sulfato de cobre Acido clorhídrico Cloruro de Zinc	R- 445	1,2 0,75 12	<b>Color Ref.</b> NEGRO Fuente RYF. A.1 Pág. 247	
<b>Caliente</b>	Agua destilada		100		
<b>PROBETA</b> 242	Nitrato de cobre Acido nítrico Permanganato potásico	R- 446	2,5 0,4 1	<b>Color Ref.</b> NEGRO Fuente RYF. A.2 Pág. 247	
<b>Caliente</b>	Agua destilada		100		
<b>PROBETA</b> 246	Sulfato de cobre Cloruro potásico Agua destilada	R- 461	5 5 100	<b>Color Ref.</b> NEGRO Fuente RYF. Z.3 Pág.249	
<b>Caliente</b>					
<b>PROBETA</b> 248	Cloruro amónico Sulfato de cobre Trióxido de arsénico Cloruro potásico	R- 463	5,8 5 15,2 5	<b>Color Ref.</b> NEGRO Fuente RYF. E.2 Pág.249	
<b>Caliente</b>	Agua destilada		100		

Tabla 37. Colores resultantes con recetas reportadas para NEGROS (III)

				BRONCE	COBRE	LATON	ZINC	HIERRO	ALUMINIO
<b>PROBETA</b> 20	Original Blue Cu (NO3)2 Cl NH4 H2O	R- 31	Color Ref. AZULADO Fuente CP.B.10 Pág. 64						
70°C									
<b>PROBETA</b> 31	Sulfuro potásico Cloruro amónico Agua destilada	R- 30	Color Ref. AZULADO Fuente RYF.B.55 Pág.228						
90°C									
<b>PROBETA</b> 32	Sulfuro de Cobre Sulfuro amónico Agua destilada	R- 32	Color Ref. AZULADO Fuente RYF.B.20 90°C Ver Pág.213						
90°C									
<b>PROBETA</b> 33	Tiosulfato potásico Acido nítrico Agua destilada	R- 33	Color Ref. AZULADO Fuente RYF.B.11 Pág.193						
En frío 1h.									
<b>PROBETA</b> 37	Dicromato potásico Agua destilada	R- 0	Color Ref. AZULADO Fuente RYF.B.54 Pág. 228						
Caliente									
<b>PROBETA</b> 41	Nitrato de cobre Cloruro amónico Agua destilada	R- Solución Effect Blue	Color Ref. #N/A Fuente						
En Frío									
<b>PROBETA</b> 42 = 55	Nitrato de Cobre Amoniaco Agua destilada	R- Original Blue	Color Ref. #N/A Fuente						
Caliente									
<b>PROBETA</b> 47	36 y 37 Cloruro férrico Ferricianuro potásico Agua destilada	R- 36	Color Ref. AZULADO Fuente RYF.B.53 Pág.228						
En Frío									
<b>PROBETA</b> 48	Sulfato amónico Agua destilada	R- 37.1	Color Ref. AZULADO Fuente RYF.B.35 Pág.218						
En Frío									
<b>PROBETA</b> 49	Sulfuro amónico Agua destilada	R- 38	Color Ref. AZULADO Fuente RYF.B.35 Pág.218						
En Frío									

Tabla 38. Colores resultantes con recetas reportadas para AZULES (I)

<b>PROBETA</b> 50	Cloruro Férrico Ferrocianuro potasio Agua destilada	R- 39	1,6 1,6 100	Color Ref. AZULADO Fuente CP.B.19 Pág. 75	
<b>Caliente</b>					
<b>PROBETA</b> 51	Hidróxido de sodio Persulfato potasio Agua destilada	R- 40	2,5 1 100	Color Ref. AZULADO Fuente RH.B.26 1.94**	
<b>Caliente</b>					
<b>PROBETA</b> 52	Amoniaco Sulfuro de potasio Agua destilada	R- 42	5 1 100	Color Ref. AZULADO Fuente MJ.L.14.1 Pág. 146	
<b>En Frío</b>					
<b>PROBETA</b> 53	Amoniaco Carbonato de cobre Agua destilada	R- 43	75 10 15	Color Ref. AZULADO Fuente MJ.L.14.2 Pág. 146	
<b>En Frío</b>					
<b>PROBETA</b> 54	Original y Effect Blue	R-		Color Ref. AZULADO Fuente	
<b>En Frío</b>					
<b>PROBETA</b> 55 = 42	Nitrato de Cobre Amoniaco Agua destilada	R- 31	3,5 2 100	Color Ref. AZULADO Fuente CP.B.10 Pág. 64	
<b>En Frío</b>					
<b>PROBETA</b> 56	Nitrato de Cobre Amoniaco Agua destilada	R- 31	3,5 2 100	Color Ref. AZULADO Fuente CP.B.10 Pág. 64	
<b>Caliente</b>					
<b>PROBETA</b> 57	Original Blue	R-		Color Ref. AZULADO Fuente	
<b>Caliente</b>					
<b>PROBETA</b> 153	Acido acético Hidróxido sódico Persulfato potásico Agua destilada	R- 305	3,5(10%) 2,5 1 100	Color Ref. AZULADO Fuente RH.C.48 3154	
<b>Caliente</b>					
<b>PROBETA</b> 154	Sulfato de cobre Amoniaco Sulfato amónico Agua destilada	R- 306	0,35 0,2 (.88) 10,5 100	Color Ref. AZULADO Fuente RH.C.46 3149	
<b>En Frío</b>					

Tabla 39. Colores resultantes con recetas reportadas para AZULES (II)

<b>PROBETA</b> 155	Nitrato de cobre Acido nítrico Agua destilada	R- 309 10 4 (70%) 100	Color Ref. AZULADO Fuente RH.C.33 3.132**	
<b>PROBETA</b> 157	Cloruro amónico Sulfuro de potasio Agua destilada	R- 312 1 1 100	Color Ref. AZULADO Fuente RH.C.25 3.88	
<b>PROBETA</b> 158	Hidróxido sódico Trisulfuro de antimonio Agua destilada	R- 314 4 1,5 100	Color Ref. AZULADO Fuente RH.C.21 3.75*	
<b>PROBETA</b> 159	Sulfato de cobre Amoniaco Agua destilada	R- 315 2,5 0,5 100	Color Ref. AZULADO Fuente RH.C.8 3.12*	
<b>PROBETA</b> 206	Sulfato de cobre Acido nítrico Etanol	R- 390 6,4 12 16	Color Ref. AZULADO Fuente RYF.F.16 Pág.256	
<b>PROBETA</b> 208	Clorato potásico Cloruro de mercurio Acido clorhídrico Etanol Agua destilada	R- 392 3,5 5 25 10 100	Color Ref. AZULADO Fuente RYF.F.18 Pág.252/256	
<b>PROBETA</b> 209	Cloruro amónico Sulfuro de potasio Agua bdestilada	R- 393 18 1,3 100	Color Ref. AZULADO Fuente INT.F.3 n.d.	
<b>PROBETA</b> 210	Acido nítrico Sulfito sódico Agua destilada	R- 393 0,36 5,4 100	Color Ref. AZULADO Fuente INT.F.4 n.d.	
<b>PROBETA</b> 211	Sulfato de cobre Carbonato de cobre Agua destilada	R- 395 12,9 12,9 100	Color Ref. AZULADO Fuente INT.F.5 n.d.	

Tabla 40. Colores resultantes con recetas reportadas para AZULES (III)




<b>PROBETA</b>		R- 396		<b>Color Ref.</b>	
212	Cloruro amónico		0,5	<b>AZULADO</b>	
	Amoniaco		0,4	Fuente	
	Cloruro sódico		0,5	INT.F.11	
	Acido acético		0,4		
<b>Sol. Caliente</b>	Agua destilada		100	n.d.	
<b>PROBETA</b>		R- 433		<b>Color Ref.</b>	
233	Tiosulfato potásico		5	<b>AZUL</b>	
	Agua destilada		100	Fuente	
<b>Caliente</b>				RYF. Inox.4 Pág.251	
<b>PROBETA</b>		R- 434		<b>Color Ref.</b>	
234	Acido nítrico		12	<b>AZUL</b>	
	Agua destilada		100	Fuente	
<b>Caliente</b>				RYF. Inox.5 Pág.251	
<b>PROBETA</b>		R- 435		<b>Color Ref.</b>	
235	Sulfato de cobre		6	<b>AZUL</b>	
	Acido nítrico		13	Fuente	
	Etanol		16	RYF. Inox.6	
<b>Ebullición</b>	Agua destilada		100	Pág.251	
<b>PROBETA</b>		R- 436		<b>Color Ref.</b>	
236	Cloruro férrico		25	<b>AZUL</b>	
	Cloruro de mercurio		25 (Nitrate)	Fuente	
	Acido clorhídrico		25	RYF. Inox.7	
	Etanol		100	Pág.252/256	
<b>En Frío</b>	Agua destilada		100		
<b>PROBETA</b>		R- 437		<b>Color Ref.</b>	
237	Clorato potásico		3,5	<b>AZUL</b>	
	Cloruro de mercurio		5	Fuente	
	Etanol		10	RYF. Inox.8	
<b>En Frío</b>	Agua destilada		100	Pág.252/256	
<b>PROBETA</b>		R- 450		<b>Color Ref.</b>	
243	Cloruro de hierro		45,7	<b>AZULADO</b>	
	Ferricianuro potásico		45,7	Fuente	
	Agua destilada		100	RYF. A.3	
<b>65 °C</b>				Pág. 248	

Tabla 41. Colores resultantes con recetas reportadas para AZULES (IV)

				BRONCE	COBRE	LATON	ZINC	HIERRO	ALUMINIO
<b>PROBETA</b> 12	Residuo Rokusho	R- Residuo Rokusho	<b>Color Ref.</b> MARRON Fuente						
<b>PROBETA</b> 18	Acido nítrico Agua destilada	R- Decapado 10% 90%	<b>Color Ref.</b> MARRON Fuente						
<b>PROBETA</b> 19=164	PATINA BASE Nitrato Férrico Agua destilada	R- 92 1 100	<b>Color Ref.</b> MARRON Fuente CP.B.1 Pág. 58						
<b>PROBETA</b> 21	TAN	R- TAN	<b>Color Ref.</b> MARRON Fuente						
<b>En frío</b>									
<b>PROBETA</b> 24	Rainbow	R- Rainbow	<b>Color Ref.</b> MARRON Fuente						
<b>100°C</b>									
<b>PROBETA</b> 71	Cloruro amónico Acido acético Oxalato de potasio	R- 80 2 100 0,5	<b>Color Ref.</b> MARRON Fuente RYF.B.28 Pág.216						
<b>Caliente</b>									
<b>PROBETA</b> 72	Cloruro amónico Vinagre Oxalato potasio	R- 81 2 100 0,5	<b>Color Ref.</b> MARRON Fuente MJ.B.21 Pág. 157/8						
<b>En Frío</b>									
<b>PROBETA</b> 73	Cloruro amónico Amoniaco Vinagre En Frío Oxido férrico	R- 82 1 1 100 20	<b>Color Ref.</b> MARRON Fuente MJ.B.12 Pág. 145						
<b>PROBETA</b> 74	Nitrato férrico Tiosulfato sódico Agua destilada	R- 83 6,5 0,8 100	<b>Color Ref.</b> MARRON Fuente RYF.B.13 Pág.194						
<b>En Frío</b>									
<b>PROBETA</b> 75	Nitrato de cobre Acido acético Cloruro férrico En Frío Agua destilada	R- 84 10 10 10 100	<b>Color Ref.</b> MARRON Fuente RYF.B.14 Pág.194						
<b>PROBETA</b> 76	Nitrato de cobre Acido acético Cloruro férrico En Frío Agua destilada	R- 85 1,7 1,7 1,7 100	<b>Color Ref.</b> MARRON Fuente CP.B.25 Pág. 89						

Tabla 42. Colores resultantes con recetas reportadas para MARRON (I)

<b>PROBETA</b> 77	Sulfato de cobre Clorato potasico Agua destilada	R- 86 3 1,5 100	<b>Color Ref.</b> MARRON Fuente RYF.B.18 Pág.212	
<b>En Frío</b>				
<b>PROBETA</b> 78	Sulfuro potasio Sulfuro de cobre Oxido férico Agua destilada	R- 87 1 1 0,25 100	<b>Color Ref.</b> MARRON Fuente RYF.B.19 Pág.213	
<b>Caliente</b>				
<b>PROBETA</b> 79	Nitrato férico Tiosulfato sódico Agua destilada	R- 88 0,8 0,8 100	<b>Color Ref.</b> MARRON Fuente RYF.B.23 Pág.214	
<b>Caliente</b>				
<b>PROBETA</b> 80	Sulfato de cobre Carbonato de cobre Acetato de cobre Agua destilada	R- 89 14,3 14,3 14,3 100	<b>Color Ref.</b> MARRON Fuente RYF.B.25 Pág.214	
<b>En frío</b>				
<b>PROBETA</b> 81	Nitrato férico Cloruro férico Agua destilada	R- 91 2,5 2,5 100	<b>Color Ref.</b> MARRON Fuente RYF.B.10 Pág.210	
<b>Caliente</b>				
<b>PROBETA</b> 82	Hidróxido sódico Trisulfuro de antimonio Agua destilada	R- 95 1,6 0,8 100	<b>Color Ref.</b> MARRON Fuente RYF.B.27 Pág.215	
<b>Caliente</b>				
<b>PROBETA</b> 83	Acetato de cobre Carbonato amónico Acido tartarico Vinagre	R- 96 1 3 1 Pasta	<b>Color Ref.</b> MARRON Fuente RYF.B.26 Pág.215	
<b>En frío</b>				
<b>PROBETA</b> 84	Cloruro amónico Acetato de cobre Agua destilada	R- 98 0,5 0,5 100	<b>Color Ref.</b> MARRON Fuente M.J.L.18 Pág. 157	
<b>Caliente</b>				
<b>PROBETA</b> 141	Pátina Base Nitrato férico Agua destilada	R- 2 1 ml. de sólido 100	<b>Color Ref.</b> MARRON Fuente RYF.B.58 Pág.230	
<b>Caliente</b>				
<b>PROBETA</b> 215	Sulfato de cobre Acido nítrico Perclorato de hierro Agua destilada	R- 405 1 0,8 0,5 100	<b>Color Ref.</b> MARRON Fuente RYF.F.9 Pág.252	
<b>En Frío</b>				
<b>PROBETA</b> 216	Sulfato de cobre Acido nítrico Acido clorhídrico Agua destilada	R- 406 6,6 1,6 3,3 100	<b>Color Ref.</b> MARRON Fuente RYF.F.10 Pág.253	
<b>En Frío</b>				

Tabla 43. Colores resultantes con recetas reportadas para MARRON (III)

<b>PROBETA</b> 84	Cloruro amónico Acetato de cobre Agua destilada	R- 98 0,5 0,5 100	<b>Color Ref.</b> <b>MARRON</b> Fuente M.I.L.18 Pág. 157	
<b>Calliente</b>				
<b>PROBETA</b> 141	Pátina Base Nitrito férrico Agua destilada	R- 2 1 ml. de sólido 100	<b>Color Ref.</b> <b>MARRON</b> Fuente RYF.B.58 Pág.230	
<b>Calliente</b>				
<b>PROBETA</b> 215	Sulfato de cobre Acido nítrico Perclorato de hierro Agua destilada	R- 405 1 0,8 0,5 100	<b>Color Ref.</b> <b>MARRON</b> Fuente RYF.F.9 Pág.252	
<b>En Frío</b>				
<b>PROBETA</b> 216	Sulfato de cobre Acido nítrico Acido clorhídrico Agua destilada	R- 406 6,6 1,6 3,3 100	<b>Color Ref.</b> <b>MARRON</b> Fuente RYF.F.10 Pág.253	
<b>En Frío</b>				
<b>PROBETA</b> 217	Sulfato de cobre Cloruro de hierro III Acido nítrico Cloruro de mercurio Metanol	R- 407 2 3 15 0,5 100	<b>Color Ref.</b> <b>MARRON</b> Fuente RYF.F.11 Pág.253	
<b>En Frío</b>				
<b>PROBETA</b> 218	Hidróxido sódico Trisulfuro de antimonio Bicarbonato amónico Agua destilada	R- 408 0,9 0,44 0,4 100	<b>Color Ref.</b> <b>MARRON</b> Fuente INT.F.9 0	
<b>Sol. Caliente</b>				
<b>PROBETA</b> 219	Nitrato de hierro Tiosulfato sódico Agua destilada	R- 409 0,6 0,08 100	<b>Color Ref.</b> <b>MARRON</b> Fuente INT.F.7 n.d.	
<b>Sol. Caliente</b>				
<b>PROBETA</b> 220	Amoniaco Sulfuro potásico Agua destilada	R- 410 3,8 1,9 100	<b>Color Ref.</b> <b>MARRON</b> Fuente INT.F.8 n.d.	
<b>Amoniaco</b>				

Tabla 44. Colores resultantes con recetas reportadas para MARRON (II)

				BRONCE	COBRE	LATON	ZINC	HIERRO	ALUMINIO
<b>PROBETA</b> 6	Permanganato potásico	R- 76 1	Color Ref. <b>ANARANJADO</b>						
	Agua destilada	100	Fuente RH.B.17						
<b>Ebullición</b>			1158						
<b>PROBETA</b> 10	Permanganato potásico	R- 76 1	Color Ref. <b>ANARANJADO</b>						
	Agua destilada	100	Fuente RH.B.17						
<b>Ebullición</b>			1158						
<b>PROBETA</b> 27	Nitrato de Cobre	R- 74 3	Color Ref. <b>ANARANJADO</b>						
	Nitrato Férrico	3	Fuente CP.B.3						
	Agua destilada	100	Pág. 60						
<b>90°C</b>		<b>90°C</b>							
<b>PROBETA</b> 29	Nitrato de Cobre	R- 73 2,5	Color Ref. <b>ANARANJADO</b>						
	Nitrato Férrico	2,5	Fuente RYF.B.15						
	Agua destilada	100	Pág.211						
<b>70-80°C</b>									
<b>PROBETA</b> 58	Sulfato de cobre	R- 70 4,7	Color Ref. <b>ANARANJADO</b>						
	Acetato de cobre	0,8	Fuente RYF.B.32						
	Sulfato Al-K	1,9	Pág.217						
	Ácido nítrico	5 gotas							
<b>Caliente</b>	Agua destilada	100							
<b>PROBETA</b> 59	71-72 Cloruro amónico	R- 71 8	Color Ref. <b>ANARANJADO</b>						
	Nitrato de cobre	8	Fuente RYF.B.33						
	Sulfato de cobre	1,6	Pág.218						
	Cloruro cálcico	2							
	Acido oxálico	1							
	Agua destilada	40							
<b>En Frío</b>									
<b>PROBETA</b> 60	Nitrato férrico	R- 75 0,8	Color Ref. <b>ANARANJADO</b>						
	Oxido férrico	0,8	Fuente RYF.B.16						
	Agua destilada	100	Pág.212						
<b>Caliente</b>									
<b>PROBETA</b> 164=19	Nitrato férrico	R- 345 1	Color Ref. <b>ANARANJADO</b>						
	Agua destilada	100	Fuente RH.C.15						
<b>Caliente</b>			3.41*						
<b>PROBETA</b> 165	Acetato de cobre	R- 346 2,5	Color Ref. <b>ANARANJADO</b>						
	Acido acético	100 (6%)	Fuente RH.C.17						
	Bicarbonato amónico	5	3.47*						
<b>Ebullición</b>									
<b>PROBETA</b> 166	Cloruro amónico	R- 351 3	Color Ref. <b>ANARANJADO</b>						
	Sulfuro de potasio	2	Fuente RH.C.22						
	Trisulfuro de antimonio	2	3.76*						
<b>Caliente</b>	Oxido férrico	2							

Tabla 45. Colores resultantes con recetas reportadas para ANARANJADO


























































				BRONCE	COBRE	LATON	ZINC	HIERRO	ALUMINIO
<b>PROBETA</b>		R- 63 y 64	<b>Color Ref.</b>						
1	Sulfato de cobre	2,5	<b>ROJIZO</b>						
	Agua destilada	100	Fuente						
	Cloruro Amónico	0,05	RH.L1						
<b>Ebullición</b>	Agua destilada	100	2.13/2.14						
<b>PROBETA</b>	63-64	R- 63 y 64	<b>Color Ref.</b>						
3	Sulfato de cobre	2,5	<b>ROJIZO</b>						
	Agua destilada	100	Fuente						
	Cloruro Amónico	0,2	RH.B						
<b>Ebullición</b>			2.13						
<b>PROBETA</b>		R- 325	<b>Color Ref.</b>						
4	Sulfato de cobre	2,5	<b>ROJIZO</b>						
	Acetato de cobre	100	Fuente						
	Cloruro sódico	0,2							
	Nitrato potásico	0,15							
<b>Ebullición</b>	Agua	100							
<b>PROBETA</b>	63-64	R- 64	<b>Color Ref.</b>						
7	Sulfato de cobre	2,5	<b>ROJIZO</b>						
	Agua destilada	100	Fuente						
			RH.B						
<b>Ebullición</b>			2.14						
<b>PROBETA</b>		R- 51	<b>Color Ref.</b>						
46	Carbonato de cobre	2,4	<b>ROJIZO</b>						
	Cloruro amónico	2,4	Fuente						
	Ácido acético	1,25	MJ.B.8						
<b>En Frío</b>	Agua destilada	10	Pág.140						
<b>PROBETA</b>		R- 50	<b>Color Ref.</b>						
61	Sulfuro de potasio	18	<b>ROJIZO</b>						
	Oxido férrico	24	Fuente						
	Sulfuro de cobre	18	CP.B.5						
<b>Caliente</b>	Agua destilada	100	Pág. 62						
<b>PROBETA</b>		R- 52	<b>Color Ref.</b>						
62	Cloruro amónico	0,05	<b>ROJIZO</b>						
	Sulfato de cobre	10	Fuente						
	Agua destilada	100	RH.B.27						
<b>Caliente</b>			1.70**						
<b>PROBETA</b>		R- 53	<b>Color Ref.</b>						
63	Nitrato de cobre	0,4	<b>ROJIZO</b>						
	Sulfato de Niquel	0,4	Fuente						
	Clorato potásico	0,4	RYF.B.22						
<b>Caliente</b>	Agua destilada	100	Pág.213						
<b>PROBETA</b>		R- 58	<b>Color Ref.</b>						
64	Sulfato de cobre	2,5	<b>ROJIZO</b>						
= 7	Agua destilada	100	Fuente						
			RH.B.33						
<b>Caliente</b>			1.3**						
<b>PROBETA</b>		R- 55	<b>Color Ref.</b>						
65	Sulfato de cobre	0,8	<b>ROJIZO</b>						
	Sulfuro potásico	0,8	Fuente						
	Agua destilada	100	RYF.B.21						
<b>Caliente</b>			Pág.213						

Tabla 46. Colores resultantes con recetas reportadas para ROJIZO (I)

<b>PROBETA</b> 66	Sulfato de cobre Sulfuro potásico Oxido férrico Agua destilada	R- 56	6,3 6,3 8,4 100	<b>Color Ref.</b> ROJIZO Fuente C.P. B.6* Pág.62	
<b>PROBETA</b> 67	Receta 56 Nitrito férrico Agua destilada	R- 57	8 gotas 6 100	<b>Color Ref.</b> ROJIZO Fuente CP.B.6 Pág. 62	
<b>PROBETA</b> 68	Sulfato de cobre Acetato de cobre Acido acético 10% Sulfato Aluminico Potasico	R- 54	4 7 1 0,6	<b>Color Ref.</b> ROJIZO Fuente RH.B.32 1.5**	
<b>PROBETA</b> 69	Carbonato de cobre Hidróxido sódico Agua destilada	R- 59	1,6 0,8 100 0	<b>Color Ref.</b> ROJIZO Fuente RH.B.28 1.72**	
<b>PROBETA</b> 70	Carbonato de cobre Tiosulfato sódico Agua destilada	R- 62	2 10 100 0	<b>Color Ref.</b> ROJIZO Fuente MJB.4.1 Pág. 89/90	
<b>PROBETA</b> 160	Hidróxido sódico Persulfato potásico Agua destilada	R- 322	2,5 1 100	<b>Color Ref.</b> ROJIZO Fuente RH.C.51 3.164*	
<b>PROBETA</b> 161	Trisulfuro de antimonio Oxido férrico Sulfuro amónico	R- 330	30 10 pasta	<b>Color Ref.</b> ROJIZO Fuente RH.C.20 3.74*	
<b>PROBETA</b> 162	Amoniaco Sulfuro de potasio Trisulfuro de antimonio Oxido férrico	R- 331	2 (0.88) 2 20 20	<b>Color Ref.</b> ROJIZO Fuente RH.C.23 3.78*	
<b>PROBETA</b> 163	Amoniaco Sulfuro de potasio	R- 332	1-2 (.88) Pasta 10	<b>Color Ref.</b> ROJIZO Fuente RH.C.26 3.89**	
<b>PROBETA</b> 213 A B En Frío	Cloruro amónico Nitrito de cobre Sulfato de cobre Cloruro cálcico Agua destilada Acido nítrico Agua destilada	R- 400 y 401	2,7 2,7 0,57 1,05 100 12,5 100	<b>Color Ref.</b> ROJIZO Fuente INT.F.12 n.d. INT.F.13 n.d.	

Tabla 47. Colores resultantes con recetas reportadas para ROJIZO (II)

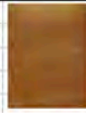



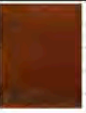
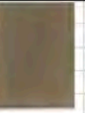



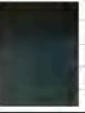



				BRONCE	COBRE	LATON	ZINC	HIERRO	ALUMINIO
<b>PROBETA</b>		R- 120	<b>Color Ref.</b>						
2	Acetato de cobre diluido	0,5- 1	<b>AMARILLO</b>						
	Agua destilada	80	<b>Fuente</b>						
			MJ.L.16						
<b>En frío</b>			<b>Pág. 157</b>						
<b>PROBETA</b>		R- 355	<b>Color Ref.</b>						
167	Cloruro amónico	2	<b>AMARILLO</b>						
	Nitrato de cobre	2	<b>Fuente</b>						
	Hiposulfito cálcico	2	RH.C.43						
	Agua destilada	100	3.143*						
<b>En Frío</b>									
<b>PROBETA</b>		R- 415	<b>Color Ref.</b>						
221	Nitrato de hierro	4,5	<b>AMARILLO</b>						
	Tiosulfato sódico	0,7	<b>Fuente</b>						
	Agua destilada	100	INT.F.1						
<b>Ebullición</b>			n.d.						

Tabla 48. Colores resultantes con recetas reportadas para AMARILLO











































				BRONCE	COBRE	LATON	ZINC	HIERRO	ALUMINIO
<b>PROBETA</b>		R-	<b>104</b>						
<b>8</b>	Sulfato de Cobre		5						
	Sulfato de Hierro		0,5						
	Sulfato de Zinc		0,5						
	Permanganato Potásico		0,25						
<b>Ebullición</b>	Agua		100						
									
<b>PROBETA</b>		R-	<b>101</b>						
<b>11</b>	Sulfato de cobre		12						
	Amoniaco (30%)		9						
	Agua destilada		100						
<b>Ebullición</b>									
<b>PROBETA</b>		R-	<b>105</b>						
<b>14</b>	Sulfato de cobre		10 - 0,625						
	Acetato de cobre		4 - 0,125						
	Nitrato potásico		4 - 0,125						
	Agua destilada		100						
<b>Ebullición</b>									
<b>PROBETA</b>		R-	<b>111</b>						
<b>15</b>	Trisulfuro de Antimonio		3						
	Óxido Férrico		1						
	Bicarbonato Amónico		2						
<b>Caliente</b>	Agua destilada		hasta pasta						
									
<b>PROBETA</b>		R-	<b>100</b>						
<b>90</b>	Cloruro amónico		10						
	Amoniaco		2						
	Carbonato de cobre		10						
<b>50°C</b>	Agua destilada		100						
									
<b>PROBETA</b>		R-	<b>102</b>						
<b>91</b>	Amoniaco		0,5						
	Sulfato de cobre		2,5						
	Agua destilada		100						
<b>Ebullición</b>									
<b>PROBETA</b>		R-	<b>103</b>						
<b>92</b>	Sulfato de cobre		1,9						
	Acetato de cobre		2,5						
	Agua destilada		100						
<b>Caliente</b>									

Tabla 49. Colores resultantes con recetas reportadas para OCRE (I)

<b>PROBETA</b> <b>93</b>	Sulfato de cobre	R- 106	5	Color Ref. OCRE	
	Clorato potásico		2	Fuente	
	Permanganato potásico		0,5	RH.B.21	
<b>Caliente</b>	Agua destilada		100	1.77**	
<b>PROBETA</b> <b>94</b>	Sulfato de cobre	R- 107	2,5	Color Ref. OCRE	
	Sulfato de níquel		3,5	Fuente	
	Permanganato potásico		0,5	RH.B.25	
<b>Caliente</b>	Agua destilada		100	1.64**	
<b>PROBETA</b> <b>95</b>	Sulfato de cobre	R- 108	2,5	Color Ref. OCRE	
	Sulfato de níquel		6,5	Fuente	
	Clorato potásico		5	RH.B.29	
<b>Caliente</b>	Agua destilada		100	1.33*	
<b>PROBETA</b> <b>96</b>	Acido nítrico (25%)	R- 109	43	Color Ref. OCRE	
	Nitrato de bismuto		7	Fuente	
	Agua destilada		100	RH.B.18	
<b>En frío</b>				1.41**	
<b>PROBETA</b> <b>97</b>	Nitrato de níquel	R- 110	5	Color Ref. OCRE	
	Tiosulfato sódico		5	Fuente	
	Agua destilada		100	RH.B.23	
<b>Caliente</b>				1.113**	
<b>PROBETA</b> <b>98</b>	Carbonato de cobre	R- 112	3	Color Ref. OCRE	
	Dicromato potásico		3	Fuente	
	Agua destilada		100	CP.B.2	
<b>Caliente</b>				Pág. 60	
<b>PROBETA</b> <b>99</b>	Nitrato férrico	R- 114	5,2	Color Ref. OCRE	
	Tiosulfato sódico		0,7	Fuente	
	Agua destilada		100	RYF.B.29	
<b>Caliente</b>				Pág.216	

Tabla 50. Colores resultantes con recetas reportadas para OCRE (II)

				BRONCE	COBRE	LATON	ZINC	HIERRO	ALUMINIO
<b>PROBETA</b>		R- 182	<b>Color Ref.</b>						
5	Sulfato de cobre	5	<b>VERDE</b>						
	Bicarbonato amónico	20	<b>Fuente</b>						
	Bitartrato Potasico	pasta	RH.B.4						
<b>Pasta</b>			1.129*						
<b>PROBETA</b>		R- 182	<b>Color Ref.</b>						
9	Sulfato de cobre	5	<b>VERDE</b>						
	Bicarbonato amónico	20	<b>Fuente</b>						
	Bitartrato Potasico	5	RH.B.4						
	Cloruro sódico	5	1.129*						
<b>En frío</b>	Acido acético	pasta							
<b>PROBETA</b>		R- 162	<b>Color Ref.</b>						
13	Nitrato de cobre	10- 20	<b>VERDE</b>						
	Agua destilada		<b>Fuente</b>						
<b>Ebullición</b>			CP.B.24						
			Pág. 88						
<b>PROBETA</b>		R- Light Green	<b>Color Ref.</b>						
26	Light Green		<b>VERDE</b>						
			<b>Fuente</b>						
<b>90°C</b>									
<b>PROBETA</b>	<b>PATINA BASE</b>	R- 1	<b>Color Ref.</b>						
34-38	Nitrato de cobre	6	<b>VERDE</b>						
	Agua destilada	100	<b>Fuente</b>						
<b>Caliente</b>			RYF.B.58						
			Pág.229						
<b>PROBETA</b>		R- 161	<b>Color Ref.</b>						
35	Cloruro de cobre	6	<b>VERDE</b>						
	Cloruro amónico	12	<b>Fuente</b>						
	Amoniaco (30%)	12	CP.B.23						
<b>70°C</b>	Agua destilada	100	Pág. 87						
<b>PROBETA</b>		R- 125	<b>Color Ref.</b>						
85	Cloruro amónico	5	<b>VERDE</b>						
	Nitrato de cobre	5	<b>Fuente</b>						
	Amoniaco	20	RH.B.2						
	Acido acético	10	1.115**						
<b>En Frío</b>	Agua destilada	5							
<b>PROBETA</b>		R- 130	<b>Color Ref.</b>						
86	Cloruro amónico	3	<b>VERDE</b>						
	Cloruro de cobre (II)	17	<b>Fuente</b>						
	Agua destilada	100	RYF.B.24						
<b>En Frío</b>		0	Pág.214						
<b>PROBETA</b>		R- 131	<b>Color Ref.</b>						
87	Cloruro amónico	0,5	<b>VERDE</b>						
	Acetato de cobre	0,5	<b>Fuente</b>						
	Acido nítrico	2 gotas	RYF.B.42						
<b>En Frío</b>	Agua destilada	100	Pág.223						
<b>PROBETA</b>		R- 132	<b>Color Ref.</b>						
88	Cloruro amónico	4,5	<b>VERDE</b>						
	Cloruro de cobre (II)	9	<b>Fuente</b>						
	Agua destilada	100	RYF.B.43						
<b>Frío/Caliente</b>		0	Pág.224						

Tabla 51. Colores resultantes con recetas reportadas para VERDE (I)

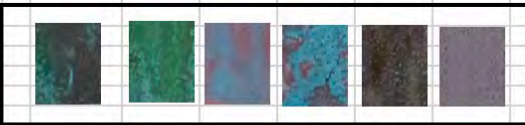
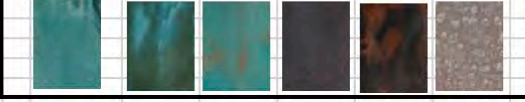
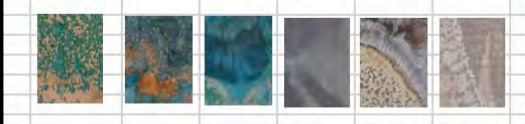

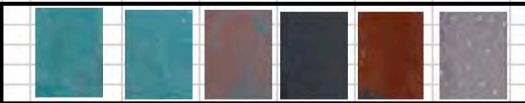
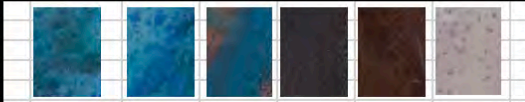
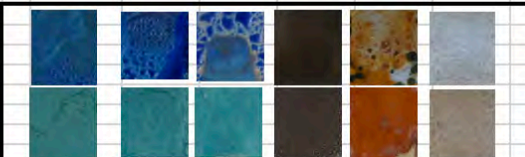
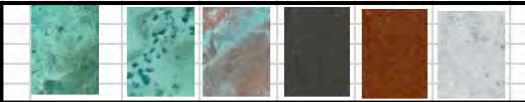

<b>PROBETA</b> 89	Cloruro amónico	R- 133	1	<b>Color Ref.</b> VERDE	
	Nitrato de cobre		8	Fuente	
	Cloruro sódico		3	RYF.B.45	
	Tartrato potásico		3	Pág.224	
<b>En Frío</b>	Aqua destilada		12		
<b>PROBETA</b> 100	Cloruro amónico	R- 134	4	<b>Color Ref.</b> VERDE	
	Carbonato de cobre		4	Fuente	
	Cloruro cálcico		4	RYF.B.46	
<b>En Frío</b>	Aqua destilada		100	Pág.224	
<b>PROBETA</b> 101	Cloruro amónico	R- 135	4,5	<b>Color Ref.</b> VERDE	
	Carbonato de cobre		0,5	Fuente	
	Amoniaco		0,5	RYF.B.47	
	Cloruro sódico		0,5	Pág.225	
<b>En Frío</b>	Aqua destilada		15 gotas		
<b>PROBETA</b> 102	Cloruro amónico	R- 138	8	<b>Color Ref.</b> VERDE	
	Amoniaco		8	Fuente	
	Cloruro sódico		8	M.J.B.1	
<b>En Frío</b>	Aqua destilada		20	Pág. 130	
<b>PROBETA</b> 103	Cloruro amónico	R- 137	1	<b>Color Ref.</b> VERDE	
	Nitrato de cobre		1	Fuente	
	Cloruro Cálcico		1	RYF.B.51	
<b>En Frío</b>	Aqua destilada		32	Pág.227	
<b>PROBETA</b> 104	Cloruro amónico	R- 136	5	<b>Color Ref.</b> VERDE	
	Amoniaco		4	Fuente	
	Cloruro sódico		5	RYF.B.48	
	Acido acético		4	Pág.225	
<b>En Frío</b>	Aqua destilada		32		
<b>PROBETA</b> 105	<i>Solución A</i> Cloruro amónico	R- 140	12,5	<b>Color Ref.</b> VERDE	
	Amoniaco		7,5	Fuente	
	Aqua destilada		50	M.J.B.6	
	<i>Solución B</i>		0	Pág. 136	
	Cloruro amónico		2,5		
	Amoniaco		2,5		
<b>En Frío</b>	Vinagre		50		
<b>PROBETA</b> 106	Cloruro amónico	R- 142	10	<b>Color Ref.</b> VERDE	
	Acetato de cobre		15	Fuente	
	Vinagre		Pasta	M.J.B.9	
<b>En Frío</b>				Pág. 141	
<b>PROBETA</b> 107	Cloruro amónico	R- 144	1	<b>Color Ref.</b> VERDE	
	Nitrato de cobre		6	Fuente	
	Amoniaco		12	M.J.B.14	
	Cloruro sódico		6	Pág. 145	
<b>En Frío</b>	Carbonato potásico		3		

Tabla 52. Colores resultantes con recetas reportadas para VERDE (II)

<b>PROBETA</b> 110	Cloruro amónico Carbonato amónico Agua destilada	R- 148 4 12 100	Color Ref. VERDE Fuente M.J.B.17	
<b>En Frio</b>		0 0	Pág. 150	
<b>PROBETA</b> 111	Cloruro amónico Oxalato potásico Acido oxálico	R- 150 12 4 1	Color Ref. VERDE Fuente M.J.B.26	
<b>En Frio</b>	Vinagre	100	Pág. 161	
<b>PROBETA</b> 112	Cloruro amónico Carbonato de cobre Agua destilada	R- 151 7,7 3,9 100	Color Ref. VERDE Fuente M.J.B.27	
<b>En Frio</b>			Pág. 161	
<b>PROBETA</b> 113	Cloruro amónico Cloruro de cobre Bicarbonato potásico* Agua destilada	R- 154 8 2,5 2 50	Color Ref. VERDE Fuente M.J.L.11	
<b>En Frio</b>			Pág. 152	
<b>PROBETA</b> 114	Nitrato de cobre Agua destilada	R- 156 6 100	Color Ref. VERDE Fuente CP.B.7	
<b>Caliente</b>			Pág. 63	
<b>PROBETA</b> 115	Nitrato de cobre Amoniaco Agua destilada	R- 157 6 1 100	Color Ref. VERDE Fuente CP.B.8	
<b>Caliente</b>			Pág. 63	
<b>PROBETA</b> 116	Cloruro amónico Carbonato de cobre Acetato de cobre Vinagre	R- 158 6 10 6 100	Color Ref. VERDE Fuente CP.B.26	
<b>En Frio</b>			Pág. 89-90	
<b>PROBETA</b> 117	Cloruro amónico Acetato de cobre Acido nítrico Agua destilada	R- 159 3 1,5 1 100	Color Ref. VERDE Fuente CP.B.27	
<b>En Frio</b>			Pág. 90	
<b>PROBETA</b> 118	Cloruro amónico Sulfato de cobre Cloruro de cobre F/C Agua destilada	R- 160 6 3 18 100	Color Ref. VERDE Fuente CP.B.22	
			Pág. 86	
<b>PROBETA</b> 119	Cloruro amónico Amoniaco Cloruro de sodio En Frio Vinagre	R- 162 26 1,5 26 100	Color Ref. VERDE Fuente CP.B.24	
			Pág. 88	

Tabla 53. Colores resultantes con recetas reportadas para VERDE (III)

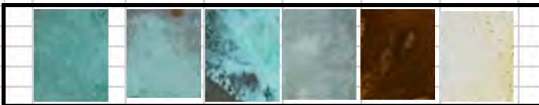
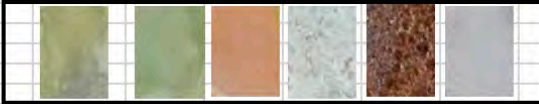
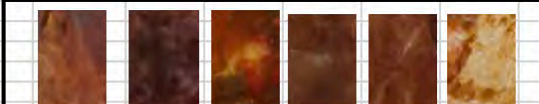
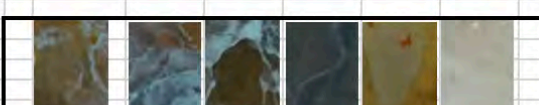
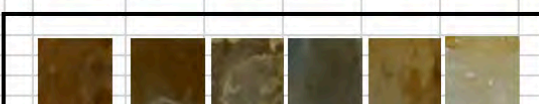


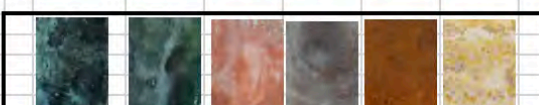
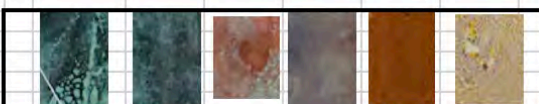

<b>PROBETA</b> 120	Nitrato de cobre Acido nítrico Agua destilada	R- 163 10 4 100	<b>Color Ref.</b> VERDE Fuente RH.B.1 1.120**	
<b>PROBETA</b> 121	Nitrato de cobre Cloruro de zinc Agua destilada	R- 165 3 3 Pasta	<b>Color Ref.</b> VERDE Fuente RH.B.6 1.126*	
<b>PROBETA</b> 122 (A)	Nitrato de cobre Agua destilada	R- 169 2,4 100	<b>Color Ref.</b> VERDE Fuente RYF.B.31 Pág.217	
<b>122 (B)</b> Caliente	Ferrocianuro potásico	Sol. Saturada		
<b>PROBETA</b> 123	Nitrato de cobre Agua destilada	R- 170 2 100	<b>Color Ref.</b> VERDE Fuente RYF.B.40 Pág.222	
<b>PROBETA</b> 124 (A)	Nitrato de cobre Agua destilada	R- 171 2 100	<b>Color Ref.</b> VERDE Fuente RYF.B.41 Pág.222	
<b>Caliente</b> 124 (B)	Nitrato fémico Agua destilada	0,5 100		
<b>Caliente</b>				
<b>PROBETA</b> 125	Nitrato de cobre Agua destilada	R- 172 8 100	<b>Color Ref.</b> VERDE Fuente RYF.B.52 Pág.227	
<b>PROBETA</b> 126	Nitrato de cobre Nitrato fémico Sulfuro de potasio Agua destilada	R- 173 4 2 0,5 100	<b>Color Ref.</b> VERDE Fuente CP.B.11 Pág. 65	
<b>PROBETA</b> 127	Nitrato de cobre Acido nítrico Agua destilada	R- 174 5 2 100	<b>Color Ref.</b> VERDE Fuente CP.B.14 Pág. 67	
<b>Caliente</b>				
<b>PROBETA</b> 128	Nitrato de cobre Acido clorhídrico Agua destilada	R- 175 5 3 100	<b>Color Ref.</b> VERDE Fuente CP.B.15 Pág. 67	
<b>Caliente</b>				
<b>PROBETA</b> 129	Amoniaco Cloruro de sodio Vinagre En Frío Jugo de limón	R- 176 40 10 40 10	<b>Color Ref.</b> VERDE Fuente RYF.B.44 Pág.224	

Tabla 54. Colores resultantes con recetas reportadas para VERDE (IV)

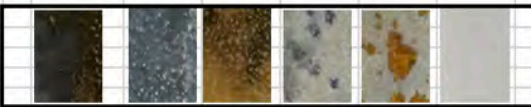
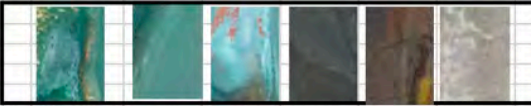
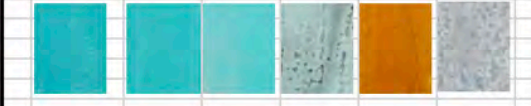



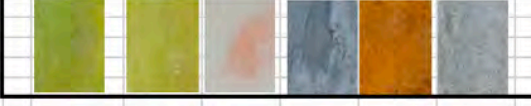
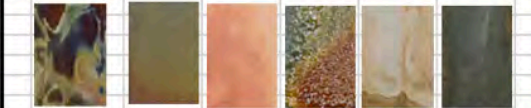

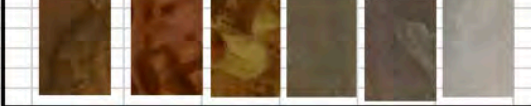

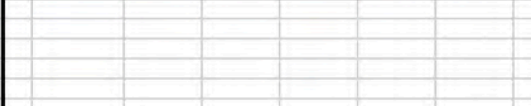
<b>PROBETA</b> 130	Amoniaco Sulfuro de potasio Sulfuro de Bario	R- 177 15 2 7	Color Ref. <b>VERDE</b> Fuente RYF.B.50 Pág.226	
<b>En Frío</b>				
<b>PROBETA</b> 131	Cloruro amónico Amoniaco Carbonato de cobre Cloruro de sodio Vinagre	R- 180 1,6 2,6 2,5 1,6 100	Color Ref. <b>VERDE</b> Fuente MJ.B.15 Pág. 149	
<b>En frío</b>				
<b>PROBETA</b> 132	Amoniaco Sulfato de cobre Carbonato de cobre Acetato de cobre Acido nítrico Aqua destilada	R- 181 5 gotas 12 12 12 2 gotas 100	Color Ref. <b>VERDE</b> Fuente CP.B.28 Pág. 91	
<b>En Frío</b>				
<b>PROBETA</b> 133	Sulfato de cobre Cloruro de sodio Acetato de cobre Acido acético (6%) Acido nítrico Aqua destilada	R- 183 0,625 0,2 0,125 100 2 gotas 100	Color Ref. <b>VERDE</b> Fuente RH.B.13 1.106*	
<b>Ebullición</b>				
<b>PROBETA</b> 134	Cloruro férrico Aqua destilada	R- 186 9,5 100	Color Ref. <b>VERDE</b> Fuente CP.B.21 Pág. 85	
<b>En Frío</b>				
<b>PROBETA</b> 135	Nitrato férrico Tiosulfato sódico Aqua destilada	R- 189 6 0,75 100	Color Ref. <b>VERDE</b> Fuente RYF.B.49 Pág.226	
<b>En Frío</b>				
<b>PROBETA</b> 136	Cloruro de cobre Aqua destilada	R- 193 5 100	Color Ref. <b>VERDE</b> Fuente MJ.L.7 Pág. 152	
<b>En Frío</b>				
<b>PROBETA</b> 137	Cloruro férrico Aqua destilada	R- 194 50 100	Color Ref. <b>VERDE</b> Fuente MJ.L.9 Pág. 151	
<b>En Frío</b>				
<b>PROBETA</b> 138	Cloruro de cobre Aqua destilada	R- 199 10 100	Color Ref. <b>VERDE</b> Fuente MJ.L.13 Pág. 153	
<b>En Frío</b>				
<b>PROBETA</b> 139	Ferrocianuro potásico Aqua destilada	R- 200 0,8 a 1,6(1,2) 100	Color Ref. <b>VERDE</b> Fuente CP.B.18 Pág. 74	
<b>Caliente</b>				
<b>PROBETAS</b> 140	Nitrato de cobre Aqua destilada	R- 1 6,3 ml. de sólido 100 0 0 0	Color Ref. <b>Base Coat</b> Fuente RYF.B.58 Pág.229	
<b>Caliente</b>				
<b>PROBETAS</b> 141	Nitrato de Hierro III Aqua destilada	R- 2 1 ml. De sólido 100	Color Ref. <b>VERDES</b> Fuente RYF.B.58 Pág.230	
<b>Caliente</b>				

Tabla 55. Colores resultantes con recetas reportadas para VERDE (V)







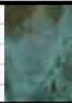
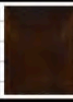
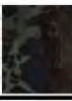
<b>PROBETA</b> 168	Cloruro amónico Sulfato de cobre Acido Acético En Frío Oxido de cobre	R- 360   hasta pasta	10 20  20	Color Ref. VERDES Fuente RH.C.30 3.128**	
<b>PROBETA</b> 169	Nitrato de cobre Cloruro de cinc Agua destilada En Frío	R- 361   h. pasta	30 30  	Color Ref. VERDE Fuente RH.C.35 3.134**	
<b>PROBETA</b> 170	Nitrato de cobre Cloruro de sodio Bicarbonato amónico En Frío	R- 362   100	4 4 12 100	Color Ref. VERDES Fuente RH.C.36 3.136*	
<b>PROBETA</b> 171	Sulfato de cobre Cloruro de sodio Acido acético Bicarbonato amónico En Frío	R- 363   h. pasta	6 6  24 6	Color Ref. VERDES Fuente RH.C.37 3.137**	
<b>PROBETA</b> 172	Cloruro amónico Nitrato de cobre Cloruro de sodio En Frío	R- 366   12	4 20 16 12	Color Ref. VERDES Fuente RH.C.40 3.140**	
<b>PROBETA</b> 173	Nitrato de cobre Cloruro férrico Nitrato de zinc Peróxido de hidrógeno En Frío	R- 367   h. pasta	15 0,5 15  6	Color Ref. VERDE Fuente RH.C.41 3.140**	
<b>PROBETA</b> 174	Nitrato de cobre Acetato de cobre Agua destilada En Frío	R- 370   0	10 1 (35%) 100 0	Color Ref. VERDES Fuente RH.C.47 3.150	
<b>PROBETA</b> 222	Cloruro amónico Cloruro de cobre Agua destilada Hervir sol. P.	R- 420   Pág.257	3,2 19 100	Color Ref. VERDE Fuente RYF.F.18	
<b>PROBETA</b> 223	Nitrato de cobre Agua destilada M. Caliente	R- 421   0	3 100	Color Ref. VERDE Fuente INT.F.14	

Tabla 56. Colores resultantes con recetas reportadas para VERDE (VI)

<table border="1"> <thead> <tr> <th>RECETA</th> <th>ROCKUSHO 1</th> <th>R-</th> <th></th> <th>Color Ref.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>R1</td> <td>Acetato de cobre</td> <td>gr.</td> <td>2,85</td> <td rowspan="5"></td> </tr> <tr> <td rowspan="3">Parte A</td> <td>Cloruro sódico</td> <td>gr.</td> <td>0,85</td> </tr> <tr> <td>Carbonato cálcico</td> <td>gr.</td> <td>1,7</td> </tr> <tr> <td>Agua destilada</td> <td>cc</td> <td>500</td> </tr> <tr> <td colspan="4">-----</td> </tr> <tr> <td>Parte B</td> <td>Sulfato de cobre</td> <td>g</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Agua destilada</td> <td></td> <td>500</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="5">-----</td> </tr> <tr> <td colspan="5">SN VINAGRE</td> </tr> <tr> <td colspan="5">A+B + NERO (5%) VINAGRE. En Frío</td> </tr> <tr> <td colspan="5">Fuente: O'Dubhatail &amp; Jones, "Japanese zogané alloys patinas", 2009, Pp.284-309</td> </tr> </tbody> </table>	RECETA	ROCKUSHO 1	R-		Color Ref.	R1	Acetato de cobre	gr.	2,85		Parte A	Cloruro sódico	gr.	0,85	Carbonato cálcico	gr.	1,7	Agua destilada	cc	500	-----				Parte B	Sulfato de cobre	g	5		Agua destilada		500		-----					SN VINAGRE					A+B + NERO (5%) VINAGRE. En Frío					Fuente: O'Dubhatail & Jones, "Japanese zogané alloys patinas", 2009, Pp.284-309							
RECETA	ROCKUSHO 1	R-		Color Ref.																																																				
R1	Acetato de cobre	gr.	2,85																																																					
Parte A	Cloruro sódico	gr.	0,85																																																					
	Carbonato cálcico	gr.	1,7																																																					
	Agua destilada	cc	500																																																					
-----																																																								
Parte B	Sulfato de cobre	g	5																																																					
	Agua destilada		500																																																					
-----																																																								
SN VINAGRE																																																								
A+B + NERO (5%) VINAGRE. En Frío																																																								
Fuente: O'Dubhatail & Jones, "Japanese zogané alloys patinas", 2009, Pp.284-309																																																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>RECETA</th> <th>ROCKUSHO 1'</th> <th>R-</th> <th></th> <th>Color Ref.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>R1'</td> <td>Acetato de cobre'</td> <td>gr.</td> <td>5</td> <td rowspan="5"></td> </tr> <tr> <td rowspan="3">Parte A</td> <td>Carbonato cálcico</td> <td>gr.</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Cloruro sódico</td> <td>gr.</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Agua destilada</td> <td>cc</td> <td>500</td> </tr> <tr> <td colspan="4">-----</td> </tr> <tr> <td>Parte B</td> <td>Sulfato de cobre</td> <td>g</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Agua destilada</td> <td></td> <td>500</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="5">-----</td> </tr> <tr> <td colspan="5">A+B En Frío (5% VINAGRE)</td> </tr> <tr> <td colspan="5">Fuente: Tami, M. The application of black-patinaed alloys in the Eastern Mediterranean: technology and technology transfer. Master of Arts. Hoozeveen (Netherlands)- July 2015. Pp. 75</td> </tr> <tr> <td colspan="5">*Producción propia</td> </tr> </tbody> </table>	RECETA	ROCKUSHO 1'	R-		Color Ref.	R1'	Acetato de cobre'	gr.	5		Parte A	Carbonato cálcico	gr.	2	Cloruro sódico	gr.	1	Agua destilada	cc	500	-----				Parte B	Sulfato de cobre	g	5		Agua destilada		500		-----					A+B En Frío (5% VINAGRE)					Fuente: Tami, M. The application of black-patinaed alloys in the Eastern Mediterranean: technology and technology transfer. Master of Arts. Hoozeveen (Netherlands)- July 2015. Pp. 75					*Producción propia							
RECETA	ROCKUSHO 1'	R-		Color Ref.																																																				
R1'	Acetato de cobre'	gr.	5																																																					
Parte A	Carbonato cálcico	gr.	2																																																					
	Cloruro sódico	gr.	1																																																					
	Agua destilada	cc	500																																																					
-----																																																								
Parte B	Sulfato de cobre	g	5																																																					
	Agua destilada		500																																																					
-----																																																								
A+B En Frío (5% VINAGRE)																																																								
Fuente: Tami, M. The application of black-patinaed alloys in the Eastern Mediterranean: technology and technology transfer. Master of Arts. Hoozeveen (Netherlands)- July 2015. Pp. 75																																																								
*Producción propia																																																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>RECETA</th> <th>ROCKUSHO 2</th> <th>R-</th> <th></th> <th>Color Ref.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>R2</td> <td>Acetato de cobre'</td> <td>gr.</td> <td>5</td> <td rowspan="5"></td> </tr> <tr> <td rowspan="3">Parte A</td> <td>Carbonato cálcico</td> <td>gr.</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>Agua destilada</td> <td>cc</td> <td>500</td> </tr> <tr> <td colspan="4">-----</td> </tr> <tr> <td>Parte B</td> <td>Sulfato de cobre</td> <td>g</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Agua destilada'</td> <td></td> <td>500</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>Vinagre de crueza</td> <td></td> <td>5</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="5">-----</td> </tr> <tr> <td colspan="5">A+B En Frío</td> </tr> <tr> <td colspan="5">Fuente: Hilditch, Jewelry Conservation Technology, Doukeday, New York, 1982, Pp.671</td> </tr> <tr> <td colspan="5">*Producción propia</td> </tr> </tbody> </table>	RECETA	ROCKUSHO 2	R-		Color Ref.	R2	Acetato de cobre'	gr.	5		Parte A	Carbonato cálcico	gr.	5	Agua destilada	cc	500	-----				Parte B	Sulfato de cobre	g	5		Agua destilada'		500			Vinagre de crueza		5		-----					A+B En Frío					Fuente: Hilditch, Jewelry Conservation Technology, Doukeday, New York, 1982, Pp.671					*Producción propia					
RECETA	ROCKUSHO 2	R-		Color Ref.																																																				
R2	Acetato de cobre'	gr.	5																																																					
Parte A	Carbonato cálcico	gr.	5																																																					
	Agua destilada	cc	500																																																					
	-----																																																							
Parte B	Sulfato de cobre	g	5																																																					
	Agua destilada'		500																																																					
	Vinagre de crueza		5																																																					
-----																																																								
A+B En Frío																																																								
Fuente: Hilditch, Jewelry Conservation Technology, Doukeday, New York, 1982, Pp.671																																																								
*Producción propia																																																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>RECETA</th> <th>ROCKUSHO 1</th> <th>R-</th> <th></th> <th>Color Ref.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>R3</td> <td>Acetato de cobre</td> <td>gr.</td> <td>2,85</td> <td rowspan="5"></td> </tr> <tr> <td rowspan="3">Parte A</td> <td>Cloruro sódico</td> <td>gr.</td> <td>0,85</td> </tr> <tr> <td>Carbonato cálcico</td> <td>gr.</td> <td>1,7</td> </tr> <tr> <td>Agua destilada</td> <td>cc</td> <td>500</td> </tr> <tr> <td colspan="4">-----</td> </tr> <tr> <td>Parte B</td> <td>Sulfato de cobre</td> <td>g</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Agua destilada</td> <td></td> <td>500</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="5">-----</td> </tr> <tr> <td colspan="5">Parte C Vinagre de crueza</td> </tr> <tr> <td colspan="5">A+B + NERO + A 30°C</td> </tr> <tr> <td colspan="5">Fuente: O'Dubhatail &amp; Jones, "Japanese zogané alloys patinas", 2009, Pp.284-309</td> </tr> </tbody> </table>	RECETA	ROCKUSHO 1	R-		Color Ref.	R3	Acetato de cobre	gr.	2,85		Parte A	Cloruro sódico	gr.	0,85	Carbonato cálcico	gr.	1,7	Agua destilada	cc	500	-----				Parte B	Sulfato de cobre	g	5		Agua destilada		500		-----					Parte C Vinagre de crueza					A+B + NERO + A 30°C					Fuente: O'Dubhatail & Jones, "Japanese zogané alloys patinas", 2009, Pp.284-309							
RECETA	ROCKUSHO 1	R-		Color Ref.																																																				
R3	Acetato de cobre	gr.	2,85																																																					
Parte A	Cloruro sódico	gr.	0,85																																																					
	Carbonato cálcico	gr.	1,7																																																					
	Agua destilada	cc	500																																																					
-----																																																								
Parte B	Sulfato de cobre	g	5																																																					
	Agua destilada		500																																																					
-----																																																								
Parte C Vinagre de crueza																																																								
A+B + NERO + A 30°C																																																								
Fuente: O'Dubhatail & Jones, "Japanese zogané alloys patinas", 2009, Pp.284-309																																																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>RECETA</th> <th>ROCKUSHO 4</th> <th>R-</th> <th></th> <th>Color Ref.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>R4</td> <td>Acetato de cobre</td> <td>gr.</td> <td>6</td> <td rowspan="5"></td> </tr> <tr> <td rowspan="3">Parte A</td> <td>Carbonato cálcico</td> <td>gr.</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Hidróxido sódico</td> <td>gr.</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Agua destilada</td> <td>cc</td> <td>150</td> </tr> <tr> <td colspan="5">Disolver en caliente y dejar reposar 1 semana.</td> </tr> <tr> <td colspan="4">-----</td> </tr> <tr> <td>Parte B</td> <td>Sulfato de cobre</td> <td>g</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Agua destilada</td> <td></td> <td>750</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="5">-----</td> </tr> <tr> <td colspan="5">A+B a 37,7°C</td> </tr> <tr> <td colspan="5">Fuente: O'Dubhatail &amp; Jones, "Japanese zogané alloys patinas", 2009, Pp.309</td> </tr> </tbody> </table>	RECETA	ROCKUSHO 4	R-		Color Ref.	R4	Acetato de cobre	gr.	6		Parte A	Carbonato cálcico	gr.	2	Hidróxido sódico	gr.	2	Agua destilada	cc	150	Disolver en caliente y dejar reposar 1 semana.					-----				Parte B	Sulfato de cobre	g	2		Agua destilada		750		-----					A+B a 37,7°C					Fuente: O'Dubhatail & Jones, "Japanese zogané alloys patinas", 2009, Pp.309							
RECETA	ROCKUSHO 4	R-		Color Ref.																																																				
R4	Acetato de cobre	gr.	6																																																					
Parte A	Carbonato cálcico	gr.	2																																																					
	Hidróxido sódico	gr.	2																																																					
	Agua destilada	cc	150																																																					
Disolver en caliente y dejar reposar 1 semana.																																																								
-----																																																								
Parte B	Sulfato de cobre	g	2																																																					
	Agua destilada		750																																																					
-----																																																								
A+B a 37,7°C																																																								
Fuente: O'Dubhatail & Jones, "Japanese zogané alloys patinas", 2009, Pp.309																																																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>RECETA</th> <th>Nikoni-Chakusoku</th> <th>R-</th> <th></th> <th>Color Ref.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>R5</td> <td>Rokusho (Receta R2)</td> <td>gr.</td> <td>1,9</td> <td rowspan="5"></td> </tr> <tr> <td rowspan="3">Parte A</td> <td>Sulfato de cobre</td> <td>gr.</td> <td>1,2</td> </tr> <tr> <td>Sulfato Aly Hidratado</td> <td>gr.</td> <td>0,2</td> </tr> <tr> <td>Agua destilada</td> <td>cc</td> <td>1000</td> </tr> <tr> <td colspan="4">-----</td> </tr> <tr> <td>Parte B</td> <td>Desengrasado (30) previo con: Bicarbonato sódico Daikon (bolor con un rábano blanco de composición alcalina)</td> <td></td> <td>5</td> </tr> <tr> <td colspan="5">-----</td> </tr> <tr> <td colspan="5">A+B En Frío</td> </tr> <tr> <td colspan="5">Parte B Vinagre de crueza+NaCl (pH: 5% de A+B)</td> </tr> <tr> <td colspan="5">A+B + C. En Caliente -30°C</td> </tr> <tr> <td colspan="5">Fuente: Tami, M. The application of black-patinaed alloys in the Eastern Mediterranean: technology and technology transfer. Master of Arts. Hoozeveen (Netherlands)- July 2015. Pp. 75</td> </tr> </tbody> </table>	RECETA	Nikoni-Chakusoku	R-		Color Ref.	R5	Rokusho (Receta R2)	gr.	1,9		Parte A	Sulfato de cobre	gr.	1,2	Sulfato Aly Hidratado	gr.	0,2	Agua destilada	cc	1000	-----				Parte B	Desengrasado (30) previo con: Bicarbonato sódico Daikon (bolor con un rábano blanco de composición alcalina)		5	-----					A+B En Frío					Parte B Vinagre de crueza+NaCl (pH: 5% de A+B)					A+B + C. En Caliente -30°C					Fuente: Tami, M. The application of black-patinaed alloys in the Eastern Mediterranean: technology and technology transfer. Master of Arts. Hoozeveen (Netherlands)- July 2015. Pp. 75							
RECETA	Nikoni-Chakusoku	R-		Color Ref.																																																				
R5	Rokusho (Receta R2)	gr.	1,9																																																					
Parte A	Sulfato de cobre	gr.	1,2																																																					
	Sulfato Aly Hidratado	gr.	0,2																																																					
	Agua destilada	cc	1000																																																					
-----																																																								
Parte B	Desengrasado (30) previo con: Bicarbonato sódico Daikon (bolor con un rábano blanco de composición alcalina)		5																																																					
-----																																																								
A+B En Frío																																																								
Parte B Vinagre de crueza+NaCl (pH: 5% de A+B)																																																								
A+B + C. En Caliente -30°C																																																								
Fuente: Tami, M. The application of black-patinaed alloys in the Eastern Mediterranean: technology and technology transfer. Master of Arts. Hoozeveen (Netherlands)- July 2015. Pp. 75																																																								

Tabla 57. Colores resultantes de recetas históricas japonesas

### 3.3. Desarrollo de nuevas recetas

Para el desarrollo de nuevas recetas se ha partido de las formulaciones comprobadas experimentalmente que producen colores de interés, procediendo a un análisis conceptual de los mecanismos de reacción posibles de los productos químicos que intervienen en el ataque a la superficie del metal constitutivo de cada probeta.

Es evidente que los átomos de metal presentes en la probeta se ven afectados por los productos químicos que participan en cada una de las formulaciones, generándose reacciones de tipo redox en la interfase<sup>269</sup> probeta-solución líquida que originan nuevas sustancias causantes de un color. Estos productos de reacción, al nutrirse de átomos del metal de la probeta base, modifican la composición del metal base, como demuestran<sup>270</sup> análisis químicos comparados de la composición de probetas antes y después del ataque químico. Tabla 58. Múltiples análisis<sup>271</sup> realizados sobre objetos antiguos arrojan similares conclusiones, siendo relevante la presencia de cloruros en la corrosión porque puede conducir a su total destrucción.

Chemical composition of bare and patinated alloy disks determined by EDS analysis.

Disk	Cu (wt.%)	Sn (wt.%)	Zn (wt.%)	Pb (wt.%)	Cl (wt.%)	S (wt.%)
555 alloy	86,6	6,5	4,4	2,5	n.d.	n.d.
PA-A	77,6	n.d.	1,4	1,4	19,6	n.d.
PA-B	74,3	5,3	n.d.	1,2	19,2	n.d.
PA-C green area	76,2	n.d.	n.d.	2,4	21,4	n.d.
PA-C red area	71,2	11,2	2,3	5,9	9,4	n.d.
PA-D	84,4	1,8	n.d.	1,4	n.d.	12,4

n.d.: not detectable.

Tabla 58. Composición química del metal base de probetas de bronce atacadas

Una receta química es, en general, una solución acuosa de una o varias sales metálicas, que puede contener una pequeña cantidad de un ácido o una base, lo que le confiere un determinado pH. Lo primero que tiene lugar en el instante que se prepara la solución es la formación de **cationes metálicos** a nivel atómico, cargados positivamente, rodeados de aniones procedentes de la sal de origen, así como iones procedentes de la disociación de las moléculas de agua (iones  $H^+$  y  $OH^-$ ) y, en su caso, de la disociación de los productos ácidos o básicos presentes ( $H^+$ ,  $OH^-$ ,  $Cl^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ , etc.), según la composición de cada receta. Estos cationes metálicos pueden hidrolizarse por tres procedimientos<sup>272</sup>:

<sup>269</sup> Hulliger, F.A. *Structural Chemistry of Layer-Type Phases*. Ed. F. Levy. D. Reidel Publishing Co., Dordrecht: Holland/Boston: USA, 1976. Pp. 390. ISBN: 90-277-0714-6.

<sup>270</sup> Di Carlo, G., et al. *Artificial patina formation onto copper-based alloys: Chloride and sulphate induced corrosion processes*. Applied Surface Science. Elsevier B.V.: 421, 2017. Pp. 120-127.

<sup>271</sup> Ingo, G.M. et al. *Large scale investigation of chemical composition, structure and corrosion mechanism of bronze archeological artefacts from Mediterranean basin*. Ed. Springer-Verlag. Heidelberg (Alemania). 2006.

<sup>272</sup> Candal, R. *Estudio fisicoquímico de la síntesis por precipitación homogénea de precursores de óxidos metálicos pulverulentos*. Tesis de Doctor. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. 1995. Pp. 5-6.

### 1. Hidrólisis forzada

Por control de la solubilidad de la sal metálica mediante el pH de la solución y por su nivel de concentración. El procedimiento más directo para conseguirlo es mediante hidrólisis térmica, es decir, por calentamiento -en el entorno de los 100°C -para formar hidróxidos, óxidos hidratados, sales básicas o neutras del metal. La temperatura, además de favorecer las reacciones como ya se ha apuntado, contribuye con frecuencia a la polimerización de los productos de la reacción, dando lugar a núcleos de partículas cuya morfología depende de la concentración de los reactivos. Y también por alcalinización controlada con un agente que genere grupos oxidrilos  $\text{OH}^-$  en la solución, como puede ser urea o carbonato/bicarbonato amónico.

### 2. Hidrólisis oxidativa

Consiste en desplazar la reacción química que se desee mediante la utilización de un agente oxidante (o reductor), cuyo poder de oxidación (o reducción) viene dado por su potencial normal de electrodo, para unas condiciones de pH y concentración determinados.

Dado que el proceso de dar pátinas no pretende en un principio proteger el metal sino todo lo contrario, provocar su corrosión para obtener un color, la superficie del metal a tratar debe estar exenta de todo rastro que impida el contacto directo metal-solución de la receta, como son las materias grasas y las capas de óxido que habitualmente protegen al metal. Por ello es esencial su total eliminación, lo que se consigue mediante procedimientos mecánicos y químicos, que se abordan posteriormente.

La propia naturaleza de los componentes químicos que constituyen las pátinas para metales, en contacto con el propio metal o aleación de base, y en ambientes húmedos cuando no en íntimo contacto con la fase líquida que constituye la receta hidrolizada, provoca la formación natural de pilas galvánicas localizadas a nivel iónico entre la fase líquida y el metal sólido, que originan reacciones químicas y electroquímicas de corrosión del metal base, y con ello la aparición de un nuevo color, según la naturaleza del producto o productos de reacción, que buscarán el equilibrio termodinámico del sistema.

### 3. Formación de compuestos de coordinación (complejos)

Casi todos los metales de transición de la Tabla Periódica forman compuestos complejos con diversos aniones e incluso con moléculas de agua. Estos complejos aportan con frecuencia color, siendo variable su estabilidad o labilidad. Son de particular interés los complejos de los cationes  $\text{Cu}^{++}$ ,  $\text{Fe}^{+++}$  y  $\text{Co}^{++}$ .

Los tres principales parámetros que en principio deben tenerse en cuenta son:

- los **potenciales normales de electrodo** de cada uno de las especies presentes (Tabla 6).

- **pH del medio** (que varía en la escala 0-7-14, según el medio sea fuertemente ácido (0), neutro (7) o muy básico (14), pudiendo ajustarse en cualquier valor intermedio, midiéndose con facilidad en cualquier momento del proceso con el uso de un medidor de pH electrónico o con simple papel indicador. Cuando interese mantener acotado el valor del pH puede recurrirse a una solución tampón.
- **temperatura**, tanto máxima (para activar la reacción) como el ritmo con el que se produce el enfriamiento (que condiciona el modo de cristalización y la retención de agua en los cristales). También afecta a las reacciones redox las concentraciones de los productos en solución y el origen de la fuente de calor, ya que no es lo mismo calentar el conjunto simplemente con aire caliente (mezcla de O<sub>2</sub> y N<sub>2</sub> principalmente) que hacerlo por aplicación de un soplete en el que se produce la combustión de un gas (metano, propano o butano son los más utilizados), con formación de gases tales como CO, CO<sub>2</sub>, vapor de agua, etc., a la temperatura de la llama, gases que son solubles en mayor o menor medida en la solución de la receta hidrolizada, aumentando así el número de especies en juego. Según la regulación del soplete en relación a la aportación de aire de combustión, en exceso o en defecto, se producen unos productos de combustión oxidantes o reductores que pueden afectar a los productos resultantes de las reacciones que tienen lugar en la superficie del metal. Se ha trabajado con aire caliente y con soplete alimentado con gas propano. (Figura 122).

Estos tres parámetros condicionan la dirección hacia la que evolucionarán las reacciones redox<sup>273</sup>, cuya correlación se recoge en los ya citados Diagramas de Pourbaix, muy útiles a la hora de diseñar una receta química, ya que permiten visualizar y predecir el comportamiento de las reacciones iónicas hidrolizadas en contacto con los metales.

---

<sup>273</sup> Robbiola, L., Fiaud C. *New Model of Outdoor Bronze Corrosion and Its Implications for Conservation*. ICOM Committee for Conservation tenth triennial meeting, Aug 1993. Vol. II. Washington, USA. Pp. 796-802. ISBN: 0935868658.



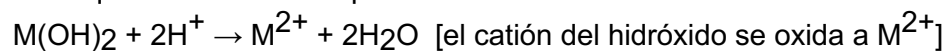
**Figura 122. Utilización de soplete en una probeta**

En los Diagramas de Pourbaix se encuentran tres tipos de líneas de representación que corresponden a equilibrios químicos/electroquímicos entre, al menos, dos especies:

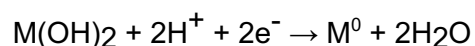
- a) Líneas horizontales que corresponden a reacciones con dependencia solamente del potencial normal de electrodo (Ecuación de Nernst). Son reacciones que pueden ser representadas bajo el esquema:



- b) Líneas verticales que obedecen a reacciones que solamente dependen del pH. Su esquema obedece al tipo de reacciones:



- c) Líneas oblicuas que están referidas a reacciones con dependencia de ambos parámetros, es decir, del potencial normal de electrodo y del pH. Su esquema de reacción obedece al tipo:



Todas estas líneas, según las reacciones que tengan lugar, en ocasiones dependen también de la *actividad*<sup>274</sup> de los iones procedentes de los productos disueltos [sólidos, líquidos o gases], así como de la Presión y la Temperatura, aunque generalmente suelen tomarse como referencia 1 atmósfera y 25°C.

Para los objetivos de este trabajo de investigación, interesa disponer básicamente de los diagramas correspondientes a sistemas acuosos del Cobre, Zinc, Hierro y Aluminio, que son los metales básicos utilizados en las probetas y en cargas aplicadas a los soportes. Este tipo de gráficos pueden construirse manualmente a partir de la Ecuación de Nernst y de las constantes de equilibrio de las reacciones químicas, como ya se hizo en el caso del agua (Figura 46) y se ha hecho también parcialmente para analizar con detalle los sistemas Cobre-Agua, Zinc-Agua<sup>275</sup>, Hierro-Agua<sup>276</sup> y Aluminio-Agua<sup>277</sup>, siguiendo a Pourbaix<sup>278</sup>. Las Figuras 123 a 124 requieren para su elaboración particularizar las ecuaciones resultantes de los cálculos de equilibrios termodinámicos, debiéndose señalar que, por convención, se entiende que la corrosión de un metal se inicia cuando la concentración de sus iones en la solución es superior a 10<sup>-6</sup> moles/litro.

Las líneas oblicuas discontinuas, marcadas con a y b, corresponden a los límites de estabilidad del agua, ya que fuera de ellas se produce la descomposición de la misma en oxígeno o hidrógeno, tema ya analizado en la citada Figura 46.

En relación a los diagramas del sistema Cobre-Agua (Figura 123), las zonas donde existen iones positivos o negativos, como son las áreas con Cu<sup>++</sup>, HCuO<sub>2</sub><sup>-</sup> y CuO<sub>2</sub><sup>=</sup> (Figura 123.a) tienen el significado de su existencia en la solución acuosa y, por tanto, disponibles para reaccionar [caso del Cu<sup>++</sup>] ante cualquier ion negativo que actuará como agente oxidante cediendo electrones al catión Cu<sup>++</sup>. En esas circunstancias, se producirá corrosión del metal base, que es el que alimenta con sus iones a la solución acuosa. Las zonas con productos sólidos como Cu<sup>0</sup> y CuO (Figura 123.b) no serán atacados por el agua cuando sus límites se encuentren entre las líneas de estabilidad del agua

---

<sup>274</sup> Es una concentración corregida del ion, generalmente bajo expresión logarítmica (por ejemplo, log[Cu<sup>++</sup>]).

<sup>275</sup> Dissemination of IT for the Promotion of Materials Science (DoITPoMS). *The Nernst Equation and Pourbaix Diagrams*. University of Cambridge. 2018. [Consulta 3-06-2019]. Disponible en: <https://www.doitpoms.ac.uk/tlplib/pourbaix/index.php>

<sup>276</sup> Pourbaix de Cu [Consulta 12-04-2019]. Disponible en: [https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Pourbaix\\_diagrams](https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Pourbaix_diagrams)

<sup>277</sup> [Consulta 24-05-2019]. Disponible en: <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6045/25Mtpb25de29.pdf?sequence=25>

<sup>278</sup> Pourbaix, M. *Lectures on Electrochemical Corrosion*. CEBELCOR. Plenum Press: New York-London. 1973. Pp.121-134. ISBN: 0-306-30449-X.

(a y b) e incluso fuera de ellas, porque la tenorita formada [CuO] es el óxido más estable<sup>279</sup> de los óxidos e hidróxidos del cobre, que actúa como barrera protectora de la superficie del metal, pasivándolo. Esta pasivación no debe confundirse con inmunidad ya que la zona pasiva puede evolucionar hacia reacciones de corrosión si se produce fragmentación de la capa de óxido, por ejemplo, porque esto pondría en contacto directo el metal base y la solución. Cuando el metal sólido está en contacto con una solución de sus iones, si se encuentra en un área de inmunidad, no solo no sufre corrosión sino que puede incluso depositarse átomos del propio metal por reducción del catión presente en la solución [ por ejemplo:  $\text{Cu}^{++} + 2\text{e}^- = \text{Cu}^0$ ]. La Figura 123.c globaliza a las dos anteriores, considerando la presencia de sólidos, pero excluyendo a la tenorita [CuO].

En solución acuosa ácida, con  $\text{pH} < 4$ , predomina el  $\text{Cu}^{++}$ , mientras que en el rango  $7,5 > \text{pH} < 8,5$  si no hay ligandos orgánicos, la especie dominante es el  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  que con el  $\text{CO}_2$  atmosférico produce malaquita [ $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$ ] de color verde, e incluso azurita [ $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$ ], de color azul.

Estos cálculos pueden realizarse con algunas aplicaciones software<sup>280,281</sup> tanto comerciales [PHREEQC, FactSage y The Geochemist's Work-bench], como de libre uso que, en principio, están disponibles en páginas web tales como ChemEQL, PhreePlot y HSC Chemistry. En este trabajo se ha utilizado de modo limitado el programa ChemEQL<sup>282</sup>, ya que PhreePlot es una aplicación eficaz para hacer gráficos y es idónea para la obtención de los diagramas de Pourbaix, pero se alimenta de los cálculos hechos en PHREEQC que es comercial y, en consecuencia, requiere el pago de licencia de uso. El programa HSC Chemistry se ha tratado de utilizar en sus versiones 5, 5.1, 6 y 7, pero no se ha conseguido su funcionamiento (en la actualidad está en la versión 9 que es comercial). También se ha tratado de utilizar algún programa de simulación similar a los anteriores, pero en la UCM no se ha podido localizar software alguno para este fin, por lo que se ha decidido recopilar algunos diagramas adicionales en la literatura especializada, como son los diagramas Zn-Agua, Hierro-Agua y Aluminio-Agua recogidos en las Figuras 124, 125 y 126.

---

<sup>279</sup> Powell, K. et al. *Chemical speciation of environmentally significant metals with inorganic ligands*. Pure Appl. Chem., Vol. 79, No.5. 2007. Pp. 895-950.

<sup>280</sup> Michałowska-Kaczmarczyk, M. et al. *Why Not Stoichiometry? Versus Stoichiometry—Why Not?. Part II: Gates in Context with Redox Systems*. Critical Reviews in Analytical Chemistry. 45(3): July 2015. 241-269. Pp. 245 / 10.1080/10408347.2014.937853.

<sup>281</sup> [Consulta 30-03-2019]. Disponible en: <https://www.hsc-chemistry.com/webshop>

<sup>282</sup> [Consulta 3-01-2019]. Disponible en: <https://www.eawag.ch/en/departament/surf/projects/chemeql/>

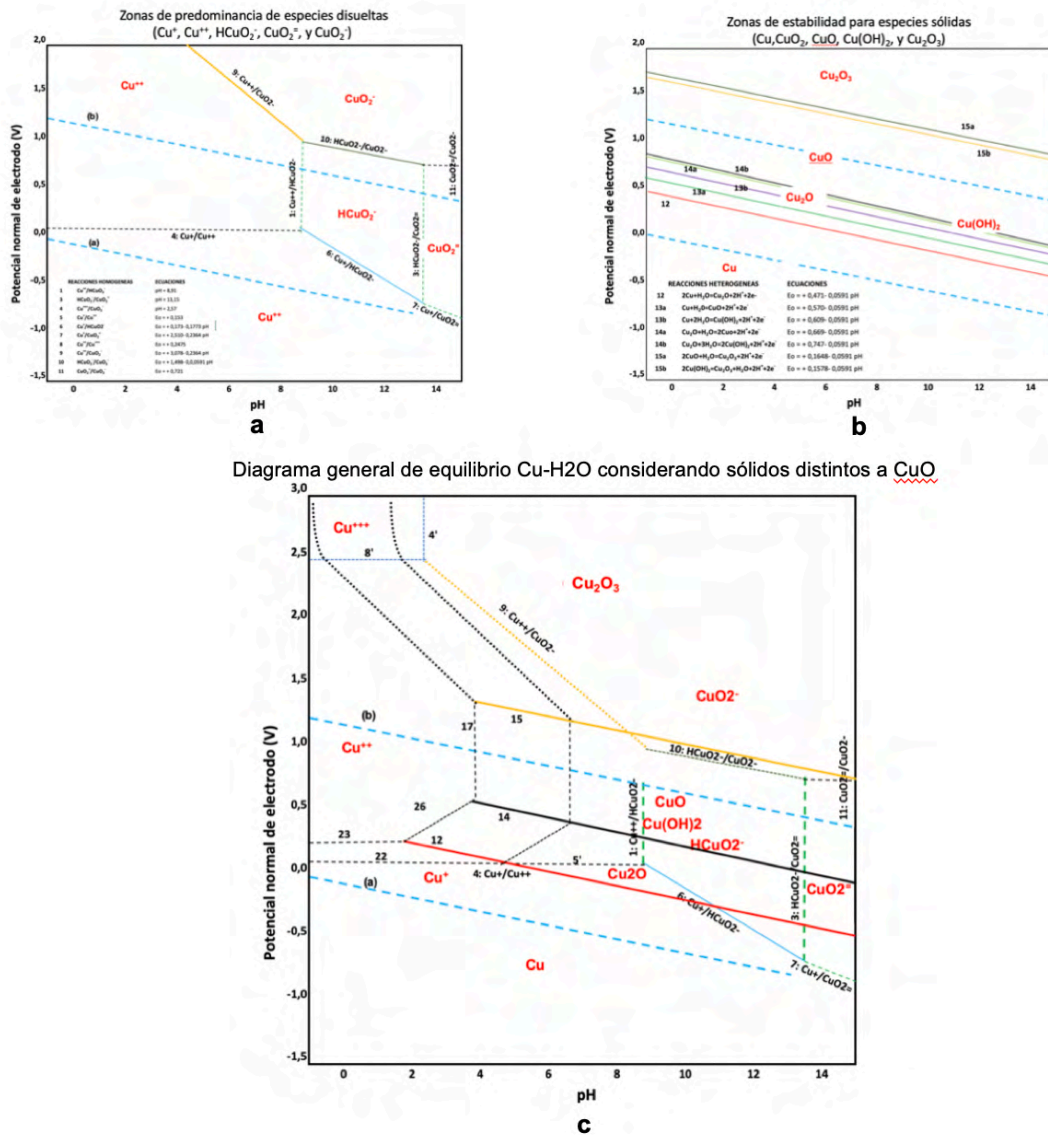


Figura 123. Diagramas de equilibrio sistema Cobre-Agua a 25°C.

En definitiva, se pueden construir los diagramas de fases en equilibrio para cualquier combinación de componentes y especies que se generan en la hidrólisis, encontrándose esquemas muy simplificados en los que se destacan áreas de los Diagramas de Pourbaix clasificadas como de corrosión, pasividad e inmunidad. La Figura 127 recoge algunos de estos diagramas simplificados directamente relacionados con este trabajo<sup>283</sup>.

<sup>283</sup> Pourbaix, M. *Lectures on Electrochemical Corrosion*. CEBELCOR. Plenum Press: New York-London. 1973. Pp.155. ISBN: 0-306-30449-X.

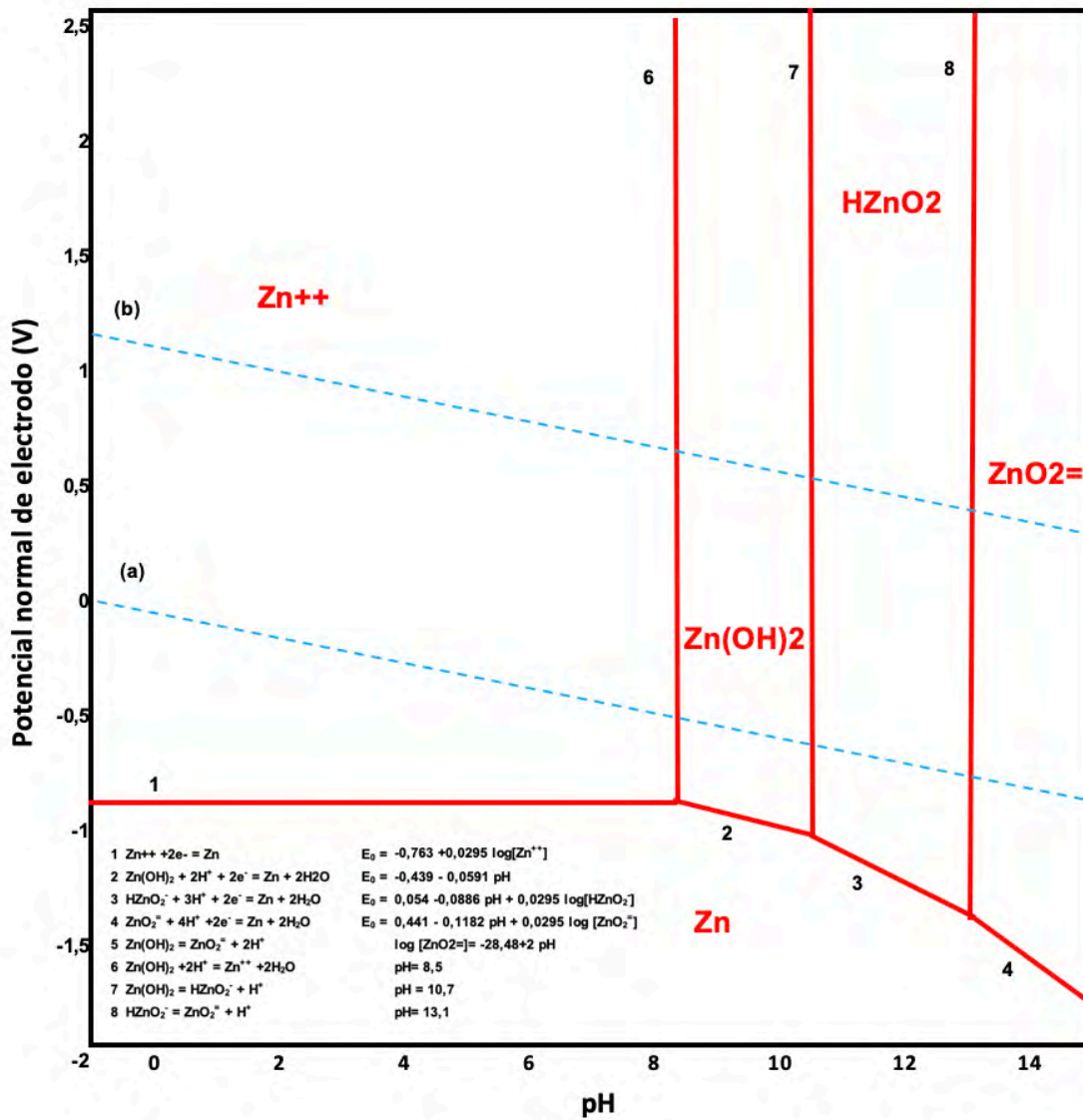


Figura 124. Diagrama de equilibrio del sistema Zic-Agua a 25°C

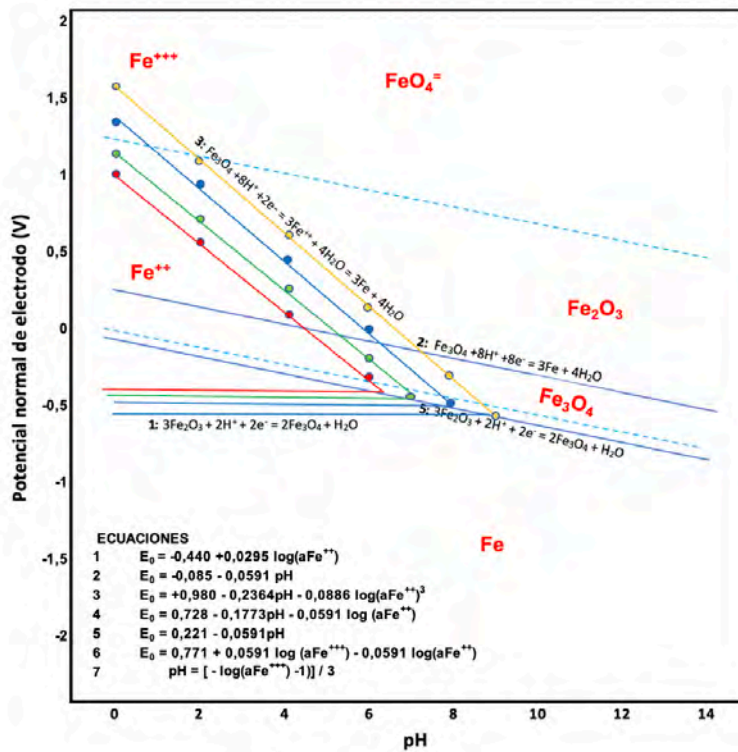


Figura 126. Diagrama de equilibrio para el sistema Hierro-Agua a 25°C

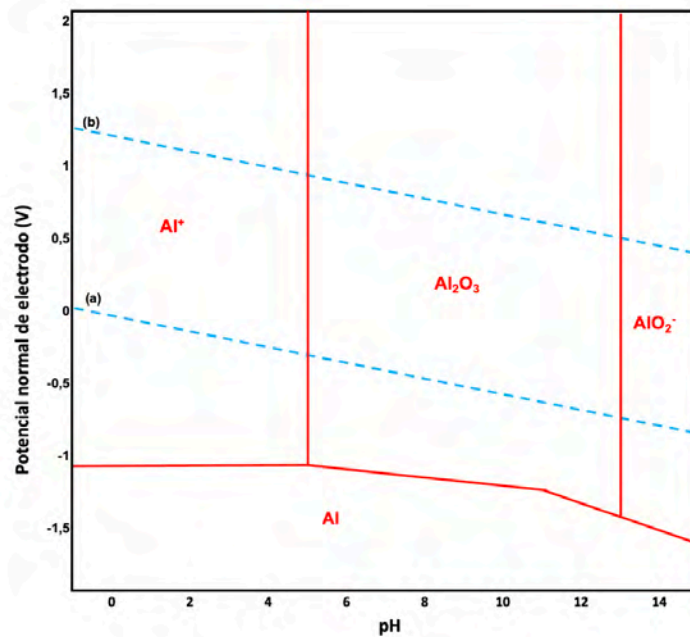


Figura 125. Diagrama de equilibrio para el sistema Aluminio-Agua a 25°C

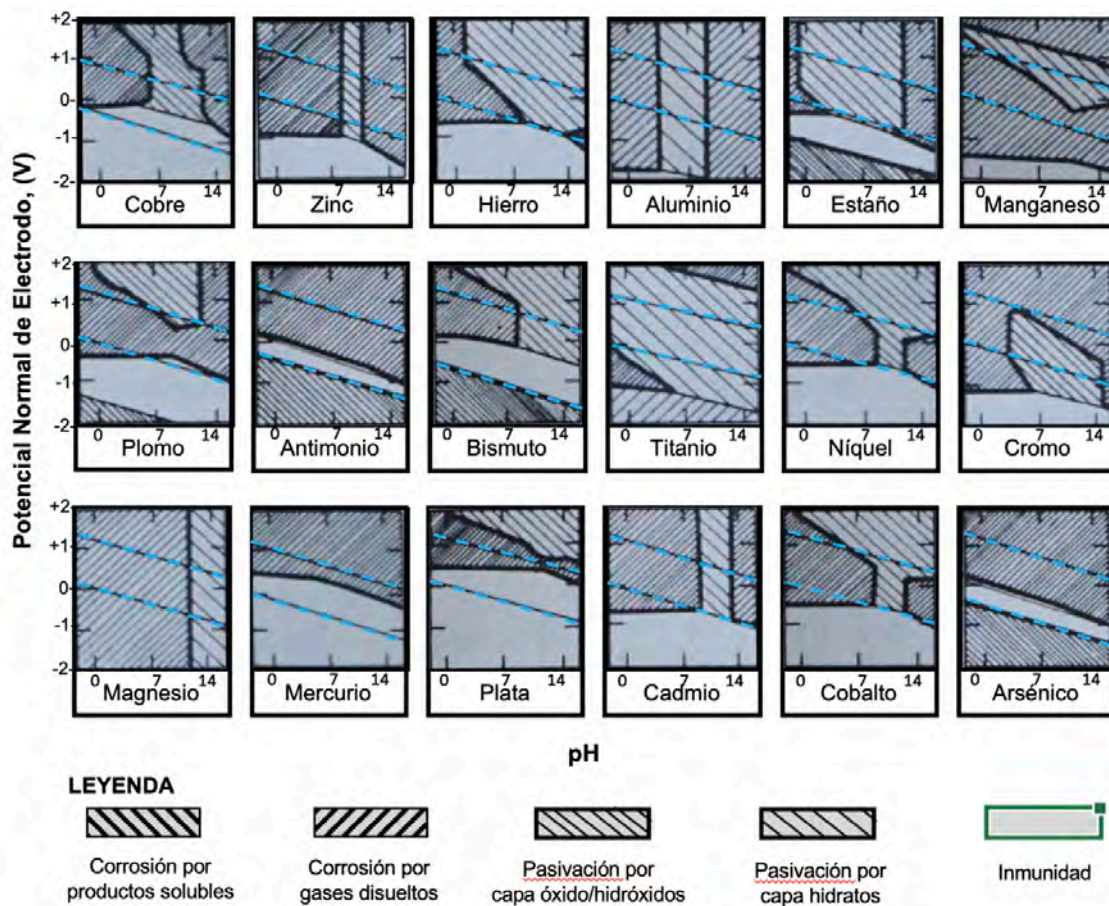


Figura 127. Diagramas de Pourbaix simplificados por áreas de corrosión a 25°C

Sobre la utilidad de este tipo de diagramas hay coincidencia de muchos autores. Muñoz Portero, por ejemplo, señala:

*“Los diagramas de Pourbaix son particularmente útiles en el estudio del comportamiento frente a la corrosión de materiales metálicos, ya que permiten predecir las zonas de inmunidad, corrosión y pasivación de un metal en un medio agresivo determinado. Si el metal en su forma elemental es la fase termodinámicamente estable, esto indicará condiciones de inmunidad. La corrosión ocurrirá si un catión soluble del metal es la fase termodinámicamente estable. Si un anión complejo soluble del catión en medio alcalino es la fase termodinámicamente estable, lo que ocurre en el caso de metales anfóteros, como por ejemplo, hierro, aluminio, cinc, etc., esto indicará condiciones de corrosión alcalina. La pasivación ocurrirá si un compuesto sólido del metal es la fase termodinámicamente estable, como por ejemplo, óxido, hidróxido o hidruros. Esta es la razón por la cual habitualmente en los estudios de corrosión los diagramas de Pourbaix aparecen de forma simplificada mostrando las regiones descritas y sin precisar cuales son las especies estables en cada condición.”<sup>284</sup>*

<sup>284</sup> Muñoz Portero, MJ. *Características y usos de los diagramas de Pourbaix*. Universidad Politécnica de Valencia. 2011. [Consulta: 30-05-2019]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10251/13708>

En el caso del Aluminio, al tener un potencial normal de electrodo de -1,66 V presenta una capacidad de oxidarse mayor que el Hierro con un potencial normal de electrodo de -0,44 V (Fe<sup>++</sup>) ó de +0,77 V (Fe<sup>+++</sup>). Sin embargo, en el Hierro se visualiza su oxidación al producirse, en contacto con un medio ambiente húmedo, óxido férrico Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> de color anaranjado, mientras que el óxido de aluminio, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, tiene el mismo color que el propio aluminio y, además, forma una capa adherente que impide una mayor oxidación del resto del metal, protegiéndolo.

Además de los diagramas de Pourbaix, otro elemento importante a tener en cuenta es el sistema de cristalización de los productos de reacción (nuevas sales), porque la cristalización depende, en primer término, de la naturaleza de la sal formada y, en segundo término -no de menor importancia-, del número de moléculas de agua que queden ocluidas en los cristales de las nuevas sales que se formen, que generalmente constituyen ligandos de compuestos de coordinación [complejos], como ya se ha recogido. La composición de cada nueva sal, su sistema de cristalización y el número de moléculas de agua retenidas por el cristal son los causantes de uno o más colores, debiéndose evitar -en la medida de lo posible- la formación de varias sales para tener mayor control durante todo el proceso de generación de color. La razón es evidente si se tienen en cuenta que cada sal aporta un color, y al ser una mezcla aditiva, el color resultante va a tender a oscurecerse.

Retomando el caso concreto referido en la Tabla 58, por análisis realizados de la capa depositada sobre la superficie de las probetas, es decir la pátina íntimamente vinculada a ella, se conoce que está constituida por distintas sales, entre ellas: tenorita, cuprita<sup>285</sup>, azurita, malaquita, posnjakita, antlerita, brochantita, nantokita, atacamita, covelita, calcosina y kobyashevita, cuyas composiciones, sistema de cristalización y colores se recogen en la Tabla 59, elaborada a partir de las referencias<sup>286,287</sup>. Talma apunta:

*“el tamaño de los cristales que se forman de cuprita en la patina generada, y su orientación, afecta al color que se visualiza”*<sup>288</sup>.

---

<sup>285</sup> La cuprita es un óxido que generalmente se presenta en cristales octaédricos, aunque no son raros los cristales cúbicos o dodecaédricos. En ocasiones en cristales fibrosos de intenso color rojo (calcotriquita), y también masivo y compacto de grano fino. La cuprita es un mineral secundario, que se forma en la zona de oxidación de los depósitos de otros minerales de cobre, por lo que frecuentemente aparece asociado al cobre nativo: azurita, crisocola, malaquita, tenorita y una gran variedad de minerales de óxido de hierro.

<sup>286</sup> Elaboración propia. Datos básicos disponibles en: <http://webmineral.com>.

<sup>287</sup> Chang, T. et al. *The role of Sn on the long-term atmospheric corrosion of binary Cu-Sn T bronze alloys in architecture*. Corrosion Science 149, ScienceDirect: 2019. Pp. 54. [Consulta 17-05-2019]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0010938X18319917>.

<sup>288</sup> Talma, M. *The application of black-patinated alloys in the Eastern Mediterranean: technology and technology transfer*. Master of Arts, Hoogeveen (Netherlands): July 2015, Pp. 3 y 43.

Por otra parte, se ha comprobado científicamente<sup>289</sup> que muchas pátinas de piezas antiguas, como la recogida en la Figura 128, están constituidas por varias capas de productos de corrosión superpuestas en el orden: tenorita (negra), cuprita (roja) y malaquita (verde), habiéndose formado esta última por carbonatación de la cuprita. Los carbonatos de sales metálicas cuando se calientan en exceso se descomponen, con desprendimiento de anhídrido carbónico [CO<sub>2</sub>], para dar óxidos, desapareciendo el color en principio generado. Es el caso, por ejemplo, del carbonato de cobre [CuCO<sub>3</sub>], de color verde, que al descomponerse a óxido de cobre [CuO, tenorita], cambia a color pardo/negro. En estos casos, hay que tener especial cuidado en no sobrecalentar.



**Figura 128. Cocodrilo de bronce**

(El-Faiyun, 2000 a.C)

La primera capa de tenorita [CuO] de color oscuro, que según el procedimiento de aplicación de la receta y de su composición también puede ser de covelita [CuS] o de calcosita [Cu<sub>2</sub>S], sirve de 'anclaje' con la superficie de metal para capas adicionales generadas con otras recetas. Se han hecho pruebas sobre el resultado que se obtiene cuando se aplica una capa de patina base como paso previo para la aplicación de otras recetas adicionales, pero sin entrar a realizar análisis químicos por salirse del alcance de esta tesis, análisis que serían necesarios para llegar a conclusiones científicamente demostrables.

La Tabla 60 recoge los resultados de aplicar algunas recetas de pre-pátinas, también llamadas pátinas base, y los colores que aparecen sobre las distintas probetas de metal utilizadas en los ensayos.

En la práctica, la generación de pátinas no es otra cosa que el intento de conseguir por tratamiento químico-electroquímico la formación de sales (minerales) sobre la superficie de un metal para generar un color. La naturaleza ha formado los minerales a lo largo del tiempo, con procesos muy distintos, que en unos casos implican la conjunción de altas temperatura y presiones en el interior de la Tierra por procesos magmáticos, también llamados ígneos y, en otros casos, por procesos sedimentarios que han provocado la disolución y precipitación de sustancias químicas formadas en condiciones medio-

---

<sup>289</sup> Chang, T. *Atmospheric corrosion of copper and copper-based alloys in architecture- from native oxides to fully developed patinas*. Doctoral thesis. KTH Royal institute of Technology. Department of Chemistry. Stockholm, Sweden. 2018.PP. 11-12. ISBN: 978-91-7729-994-3.

ambientales muy variadas a lo largo de milenios, que han llegado a nuestras civilizaciones por su estabilidad estructural.

El hombre ha conseguido extraer metales de estos minerales, utilizando reacciones redox, deshaciendo [con aporte de energía], la evolución natural que siguieron las menas, lo que implica generalmente una mayor inestabilidad estructural global de los metales obtenidos, que sufren una degradación amparada en el segundo principio de la termodinámica<sup>290</sup>. Las pátinas buscan generar colores simulando, con frecuencia de modo no consciente, al de los minerales existentes en la naturaleza o en piezas de elevada antigüedad. Por esta razón, lo que debe buscarse es reconstruir lo que la naturaleza ha hecho de modo natural, como trataron de hacer los alquimistas a lo largo de su historia, porque así se llegará a productos mucho más estables termodinámicamente hablando, en cuanto a su composición y estado de cristalización, lo que constituye un importante reto. Es esta una afirmación relevante porque muestra un camino para alcanzar, o al menos aproximarse, a los objetivos que se proponen. Cita Pourbaix<sup>291</sup> que la primera declaración de la segunda ley de la termodinámica está implícita en el texto del Génesis 3:19:

*[...] hasta que vuelvas a la tierra, porque de ella fuiste tomado; pues polvo eres, y al polvo volverás”.*

Los bronce que contienen estaño (Sn) sufren menor corrosión que el cobre puro y producen capas de pátinas de menor espesor en ausencia de productos clorados, según estudios analíticos realizados por diversos autores<sup>292</sup>. Cuando intervienen productos clorados se forman menos óxidos de estaño al predominar los productos de corrosión derivados de la reacción del ión cloruro sobre el ion cuproso, emergiendo la formación de nantokita [CuCl] que, en solución acuosa, se transforma en atacamita [Cu<sub>2</sub>(OH)<sub>3</sub>Cl] con baja adherencia por la expansión volumétrica que supone la transformación del CuCl a Cu<sub>2</sub>(OH)<sub>3</sub>Cl. Las sales cloradas del cobre, y de otros metales, son poco estables y difíciles de pasivar, por lo que debe prestarse especial atención a aquellas recetas que utilicen productos clorados.

---

<sup>290</sup> Las leyes de la termodinámica, establecen en su Primer Principio que la materia y la energía no pueden crearse ni destruirse; y el Segundo Principio establece el criterio para conocer cuándo un proceso puede o no ocurrir, siempre cumpliéndose el Primer Principio. Para ello, introduce la función de estado Entropía (S), que aumenta con la evolución de un estado de equilibrio a otro también en equilibrio, deduciéndose la variación de Energía libre de Gibbs [ $\Delta G = \Delta H - T \Delta S$ ].

<sup>291</sup> Pourbaix, M. *Lectures on Electrochemical Corrosion*. CEBELCOR. Plenum Press: New York-London. 1973. Pp.11. ISBN: 0-306-30449-X

<sup>292</sup> Chang, T. *Atmospheric corrosion of copper and copper-based alloys in architecture- from native oxides to fully developed patinas*. Doctoral thesis. KTH Royal institute of Technology. Department of Chemistry. Stockholm, Sweden. 2018. Pp. 54. ISBN: 978-91-7729-994-4



				BRONCE	COBRE	LATON	ZINC	HIERRO	ALUMINIO
RECETA 17	PATINA BASE Sulfuro potásico (K <sub>2</sub> S) Agua destilada	R- 2,5 100	Color Ref. Fuente						
90°C									
RECETA 13	PATINA BASE Nitrito de cobre Agua destilada	R- 164 10-20 100	Color Ref. VERDES Fuente CP. B.24 Pág. 88						
Ebullición									
RECETA 123	PATINA BASE Nitrito de cobre Agua destilada	R- 170 2 100	Color Ref. VERDES Fuente RYF. B.40 Pág. 222						
Caliente									
RECETA 114	PATINA BASE Nitrito de cobre Agua destilada	R- 155 6 100	Color Ref. VERDES Fuente CP. B.7 Pág. 63						
Caliente									
RECETA 34	PATINA BASE Nitrito de cobre Agua destilada	R- 6 100	Color Ref. BLANCOS Fuente RYF. B.58 Pág. 229						
Caliente									
RECETA 37	PATINA BASE Dicromato potásico Agua destilada	R- 0,5 100	Color Ref. AZULADOS Fuente RYF. B.54 Pág. 228						
Caliente									
RECETA 122 (A)	PATINA BASE Nitrito de cobre Agua destilada	R- 169 2,4 100	Color Ref. VERDES Fuente RYF. B.31 Pág. 217						
RECETA 122 (B)	PATINA BASE Ferrocianuro potásico	Sol. Saturada							
Caliente									
RECETA 125	PATINA BASE Nitrito de cobre Agua destilada	R- 172 8 100	Color Ref. VERDES Fuente RYF. B.52 Pág. 227						
Caliente									
RECETA 156	PATINA BASE Nitrito de cobre Agua destilada	R- 310 20 100	Color Ref. VERDES Fuente MI. L.13 Pág. 153						
Caliente									
RECETA 124 (A)	PATINA BASE Nitrito de cobre Agua destilada	R- 171 2 100	Color Ref. VERDES Fuente RYF. B.41 Pág. 222						
Caliente									
RECETA 124 (B)	PATINA BASE Nitrito férrico Agua destilada	0,5 100							
Caliente									
RECETA 141	PATINA BASE Nitrito férrico Agua destilada	R- 2 1,68 100	Color Ref. BLANCOS Fuente RYF. B.58 Pág. 230						
Caliente									

Tabla 60. Recetas de pre-pátinas y resultados iniciales que aportan

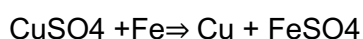
### 3.3.1. Aplicación de recetas y sus condiciones

El amplio trabajo hasta aquí realizado permite conocer las tipologías de pátinas que se obtienen con las recetas sometidas a ensayos. Muchas de ellas no conducen a los resultados que cabría esperar, pero otras validan los colores que se anuncian. En todo caso, cualquier color en principio es de interés, por lo que el hecho de haberse ensayado puede conducir a su aplicación. Sin embargo, la ciencia química aporta elementos muy útiles para analizar recetas para dar pátinas, como son los potenciales normales de electrodos, incluidos en los Diagramas de Pourbaix junto al pH, que abren nuevos caminos para enfocar la coloración de los metales, lo que unido a los colores obtenidos de la aplicación de las recetas con los sistemas de cristalización de los minerales, y los colores característicos de las sales metálicas y de los compuestos de coordinación, todos ellos ya recogidos en las Tablas 29, 30 y 31, marcan una pauta a seguir para asegurar la estabilidad termodinámica de los productos de reacción de las recetas con los metales y nuevos caminos para alcanzar la gama de color que se desee en cada momento.

Ya se ha manifestado que la corrosión se inicia con la aparición puntual de pilas galvánicas a nivel iónico que implican la aparición de determinados productos de reacción. Y también se ha manifestado que la dirección de las reacciones química puede *elegirse a voluntad* si se aporta energía para revertir el modo operativo de la pila galvánica hacia una célula electrolítica, donde el suministro de una corriente eléctrica (en definitiva, electrones que se desplazan de un cátodo a un ánodo) permite controlar el sentido de evolución de la reacción.

Este mecanismo se produce por dos procedimientos:

1. **De modo natural**, simplemente considerando los potenciales normales de electrodo, ya que por observación de la Tabla 6, se conoce el poder oxidante y reductor de los elementos químicos y de sus formaciones iónicas. Así puede afirmarse que aquellos elementos/iones de un metal situados en cualquier lugar de dicha tabla, van a desplazar de sus sales a los elementos/iones ubicados debajo de ellos. La Figura 129 recoge algunas de las pruebas realizadas sin utilizar aporte de energía eléctrica: se preparó una solución de 200 cc. de agua destilada y 10 gramos de sulfato de cobre ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ). pH = 4. Se dividió en partes iguales y se introdujeron en las soluciones probetas de Hierro y de Zinc. Se produjo casi de inmediato una reacción de sustitución del catión  $\text{Cu}^{++}$ , originando recubrimiento de cobre rojizo y negro respectivamente. En el primer caso, tiene lugar la reacción:

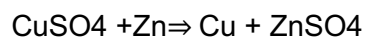


de modo espontáneo, al ser el potencial normal de electrodo del sistema  $\text{Cu}^{++}/\text{Cu}^0$  (0,34V) superior [está situado por debajo en la Tabla 6] al del sistema  $\text{Fe}^{++}/\text{Fe}^0$  (-0,41V), por lo que el Hierro sustituye al Cobre de sus sales. El color de la solución (verdoso) se debe a la mayor solubilidad del sulfato de hierro frente al sulfato de cobre de la solución original (azulada).



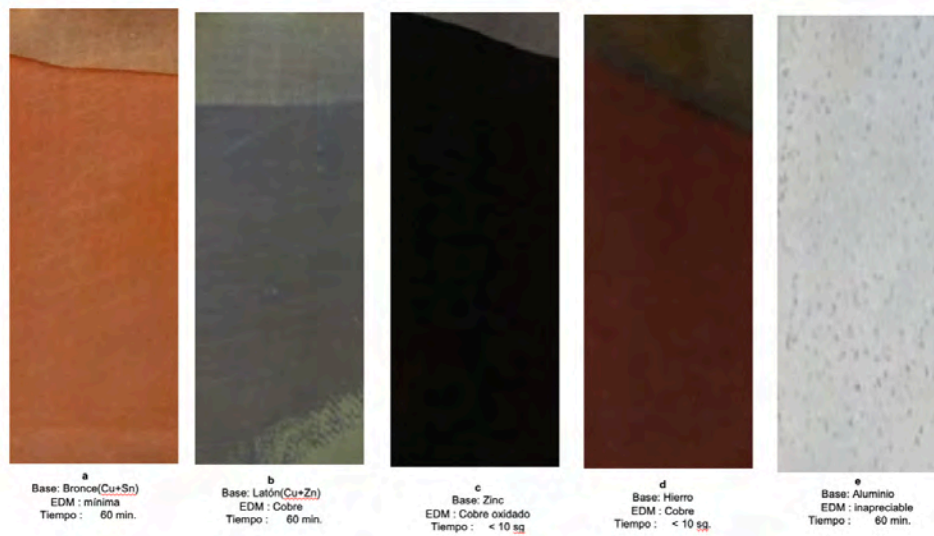
Figura 129. Ensayos de reacciones de sustitución del  $\text{Cu}^{++}$

En el caso de la probeta de Zn, se provoca la reacción:



En la que el sistema  $\text{Zn}^{++}/\text{Zn}^0$  (-0,76V) está situado en la Tabla 6 por encima del sistema  $\text{Cu}^{++}/\text{Cu}^0$  (0,34V), por lo que también sustituye de sus sales el Zinc al Cobre y, además, con mayor virulencia al aumentar la diferencia de sus potenciales normales.

La Figura 130 recoge los colores obtenidos con distintas probetas (numeradas con la serie 500).



**Figura 130. Colores obtenidos con reacciones de sustitución del Cu<sup>++</sup>**

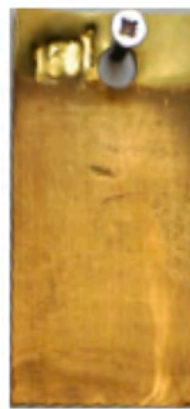
La Figura 131 recoge otro ensayo de reacción de sustitución similar al anterior, en este caso del catión Fe<sup>+++</sup> procedente de una solución al 2,5% en peso de nitrato férrico [Fe(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> · 9H<sub>2</sub>O], con pH = 1. Se utilizaron en este caso probetas de Zinc [que al estar situado por encima en la Tabla 6 sí sustituye al Fe<sup>+++</sup> depositando Fe<sup>0</sup>] mientras que el Cobre no desplaza al Hierro de sus sales. No obstante, se ha realizado el ensayo también sobre probetas de cobre, bronce y latón llegándose a obtener unos colores de interés particularmente por los componentes presentes en las aleaciones de cobre.



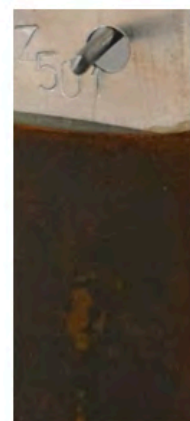
**a**  
Base: Bronce  
EDM : poco



**b**  
Base: Cobre  
EDM : poco



**c**  
Base: Latón  
EDM : poco



**d**  
Base: Zinc  
EDM : Hierro

Figura 131. Reacción de sustitución del  $Fe^{+++}$

Destacar así mismo los ensayos realizados con probetas de madera con carga de polvo de zinc aplicada con poliéster en masa y por espolvoreo (Z<sub>RP</sub>501 y Z<sub>S</sub>501), habiéndose conseguido en ambos casos deposición de cobre por reacción de sustitución. Figura 132.

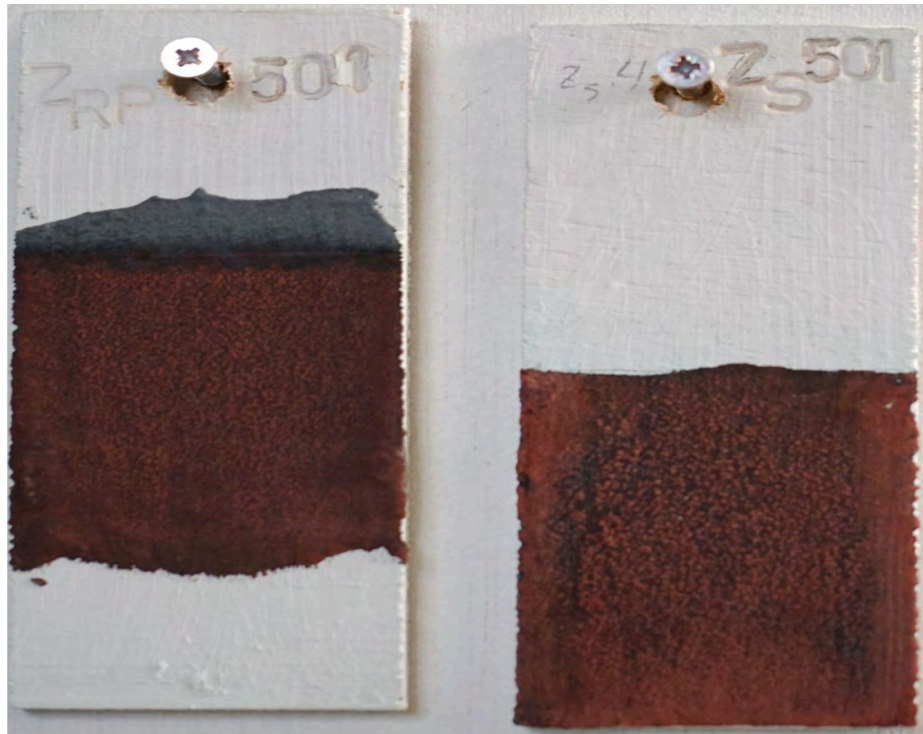
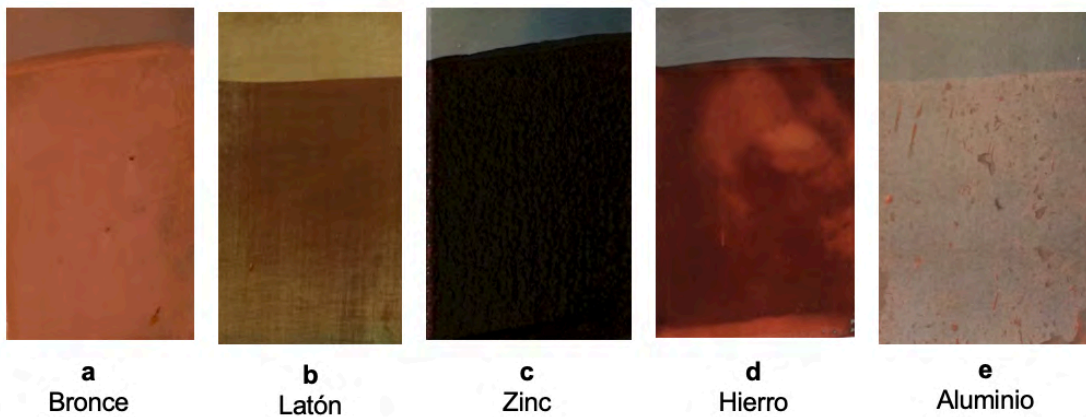
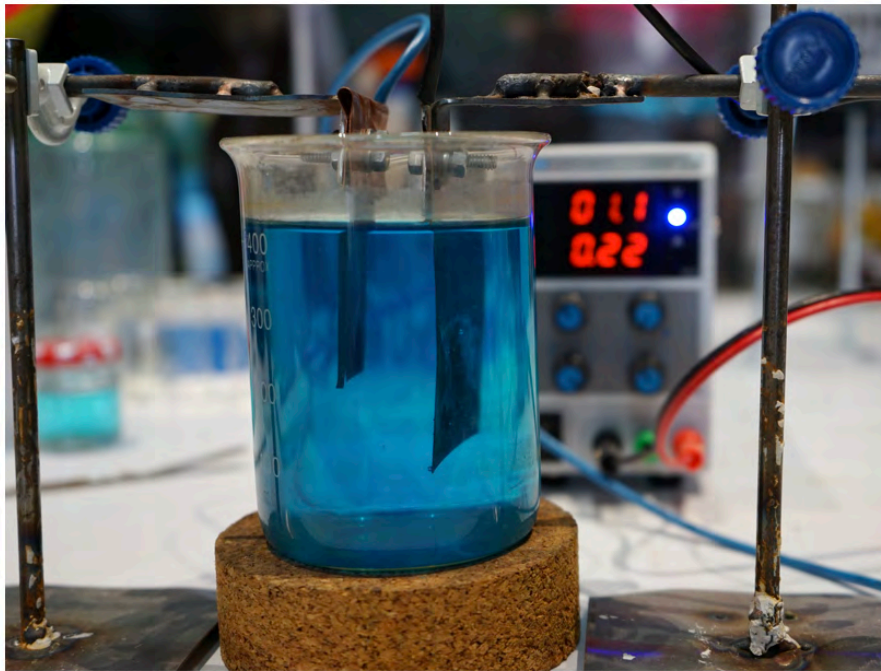


Figura 132. Deposición de cobre sobre probetas de madera con cargas de zinc

2. **De modo forzado**, aplicando una corriente eléctrica para convertir el proceso en una célula electroquímica. De este modo se han realizado algunas electrodeposiciones de metales (EDM), por ejemplo, depósito de cobre sobre probetas (numeradas como serie 502) de cobre, latón, zinc, hierro y aluminio. Figura 133. Deposición que por sí misma ya genera color y éste puede posteriormente modificarse a base de su ataque químico con alguna receta.

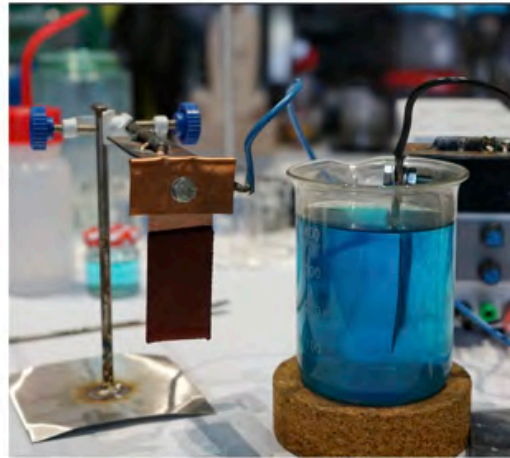


**Figura 133. EDM en célula electrolítica con  $\text{Cu}^{++}$**

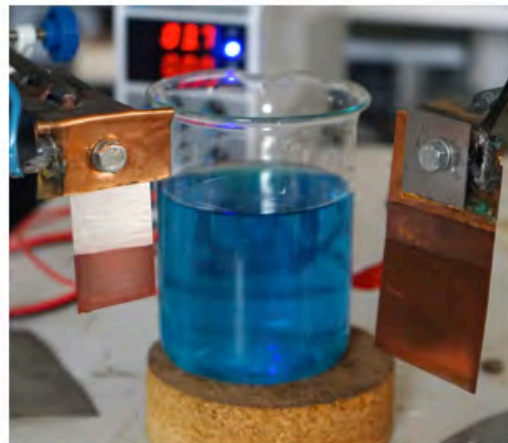
Una variante de este procedimiento ha sido utilizarlo para producir polvo de metales con muy baja granulometría, de gran utilidad a la hora de aplicar cargas sobre aparejos en soportes. Por ejemplo, si en la célula electrolítica se usa cobre tanto en el ánodo como en el cátodo, y la solución electrolítica es de una sal hidrolizada del mismo metal, en este caso sulfato de cobre, al hacer pasar una corriente por aumento del potencial desde una fuente de alimentación de corriente continua, el cobre se deposita en el cátodo a velocidad creciente con la tensión aplicada, aportando el cobre del ánodo los cationes  $\text{Cu}^{++}$  a la solución electrolítica, electrolito que no se consume ya que solo actúa en este caso como medio de transporte. La Figura 134.a y 134.b recoge

probetas de cobre C503 y de aluminio A503 con cobre depositado sobre ellas por este procedimiento, aplicando [en el caso de la probeta de cobre en ánodo y cátodo] 1,1 V que corresponde a una intensidad de 0,22 amperios, teniendo un pH ácido por aportación de dos gotas de ácido sulfúrico. También se ha investigado este sistema de electrodeposición de cobre sobre probeta de madera con carga de grafito [G503], habiéndose conseguido un recubrimiento adherente utilizando cobre en el ánodo y la probeta de madera con grafito en el cátodo con 3,7 V y 0,1 A en la fuente de alimentación de corriente continua durante 10 minutos. La resistencia inicial de la carga de grafito a 3 cm. de distancia entre electrodos del polímetro, previo pulido con el método de la cuchara, era de 80 Ohmios, que tras la deposición de cobre pasó a ser de 8 Ohmios, lo que demuestra la mejora de conductividad conseguida. Figura 134.c.

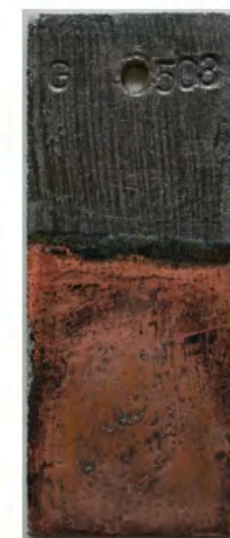
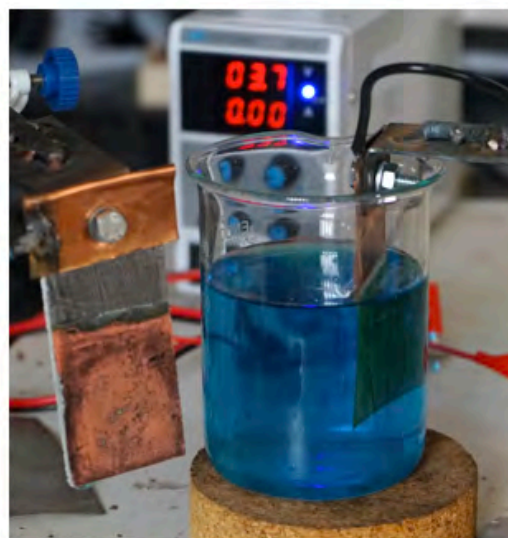
La búsqueda de las condiciones en las que debe realizarse la electrodeposición es importante, al igual que la eliminación de toda impureza del soporte sobre el que se desea obtener el recubrimiento.



**a**



**b**



**c**

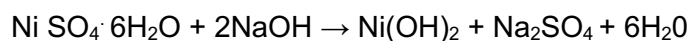
Figura 134. Anodo de cobre con cobre depositado en probetas de cobre, aluminio y grafito

### 3.3.2. Búsqueda de nuevos colores

Se echan en falta recetas específicas que produzcan colores blanco, azul, amarillo y rojo. Se han estudiado posibles caminos para su consecución, siendo, como ya se ha indicado, una buena base de partida el contenido de las Tablas 30 y 31 sobre los colores de las sales y sobre los compuestos de coordinación [complejos], así como las composiciones de los minerales. A continuación, se recogen algunos de los procedimientos adicionales que se han explorado como ejemplos de actuación para obtener distintos colores, debiendo entenderse que, salvo que se indique lo contrario, se aplican en frío (a temperatura ambiente):

#### BLANCO

1. Tratando el sulfato de níquel (hexahidratado) con hidróxido sódico, que hace subir el pH, aparece un precipitado blanquecino de hidróxido de Ni(II), de acuerdo con la reacción:



Pm = 262,5 g/mol      Pm = 39,997 g/mol

Teniendo en cuenta los pesos moleculares de los productos reaccionantes, la proporción a utilizar en la receta corresponde a la estequiometría de la reacción, que es en la proporción 1 a 2 moles respectivamente, lo que quiere decir que por cada 262,5 g. del sulfato de níquel hexahidratado se necesitan  $2 \times 39,997 = 79,994$  g. de hidróxido sódico. La proporción de los reactivos debe ser  $262,5/79,994 = 3,28$ . Por lo tanto, la receta resultante es:

Nitrato de níquel hexahidratado.	10	g.
Hidróxido sódico (10/3,28) =	3,05	g.
Agua destilada	100.	cc.

La Figura 135 muestra las probetas C450, L450 y F450 de cobre, latón y hierro respectivamente, debiendo apuntarse que el color blanco obtenido era parcialmente transparente, pudiéndose hacer más opaco añadiendo una gota de solución acuosa de TiO<sub>2</sub>.

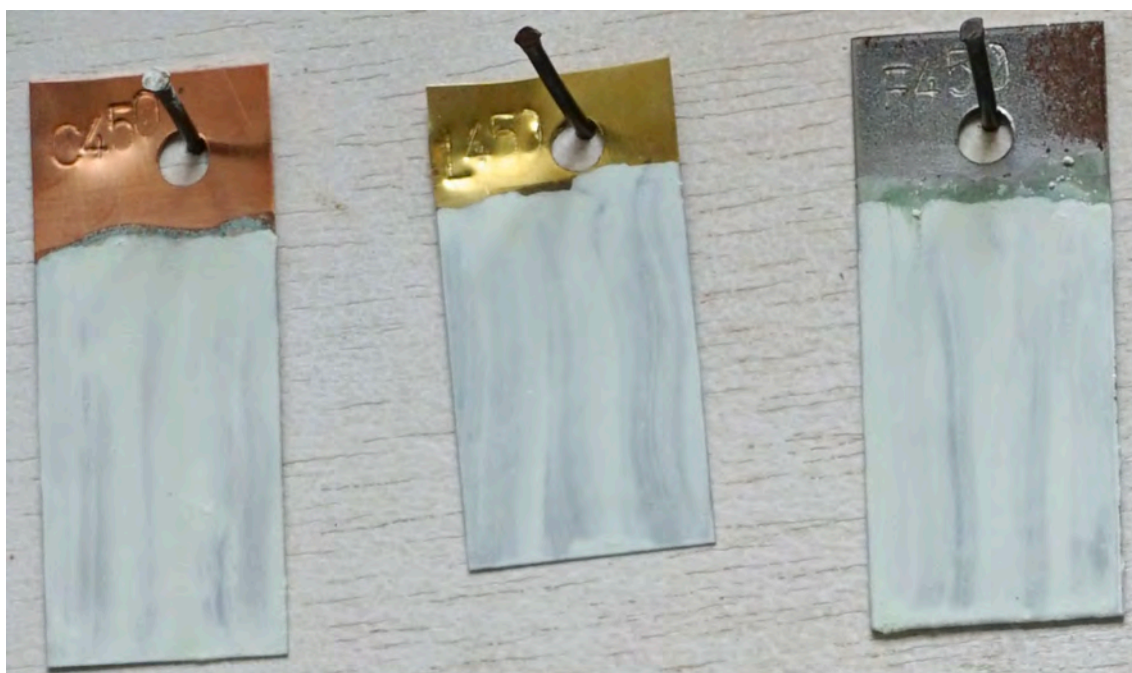
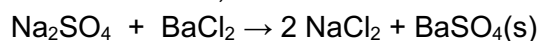


Figura 135. Pruebas de patina blanca

2. Las sales del bario son blancas, por lo que constituye una alternativa que se ha explorado. Para ello se ha centrado la atención en una reacción de sustitución entre un sulfato soluble y el cloruro de bario [BaCl<sub>2</sub>]. El sulfato es la base para que precipite el sulfato de bario, que es insoluble, pero para que tenga lugar este proceso, el sulfato debe ser de un metal que se sitúe por debajo del catión Ba<sup>++</sup> en la Tabla 6 de potenciales normales de electrodo, para así poder desplazar al catión del sulfato.

Por ejemplo, con sulfato de sodio, la reacción será:



Pm=142,04 g/mol Pm=208,23 g/mol

Esta reacción tiene la ventaja de producir, además del sulfato de bario, cloruro sódico [NaCl] que es incolora, por lo que no enmascara el blanco del sulfato de bario, que precipita.

Por estequiometría, la receta debe tener una proporción entre los dos componentes proporcionales a sus pesos moleculares de 142,04/208,23 =0,682. Conviene añadir una gota de HCl al cloruro de Bario para atacar al metal base y obtener así una mayor adherencia. Por tanto, la receta es:

Solución A

Cloruro de Bario	14,7 g.
Acido clorhídrico.	1 gota
Agua destilada.	50 cc.

Solución B

Sulfato sódico.	10 g.
Agua destilada	50 cc.

Aplicar en primer lugar la solución A y seguidamente la solución B. La Figura 136 muestra las Probetas 454 de Bronce, Cobre, Latón, Zinc y Hierro tratadas con este procedimiento.



Figura 136. Reacción de desplazamiento de otros cationes con Ba<sup>++</sup>

3. Si en lugar de utilizar sulfato sódico, se atacan las probetas directamente con ácido sulfúrico [H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>], se generan sobre las mismas los correspondientes sulfatos, y al tratarlas con una solución al 10% de cloruro de bario, el ion Ba<sup>++</sup> desplazará a los correspondientes cationes de los sulfatos formados para generar sulfato de bario insoluble, de color blanco.

Así, por ejemplo, en la probeta de Hierro F455 se ha utilizado este procedimiento, y al ser el sulfato de hierro marrón rojizo, el sulfato de bario blanco formado en la reacción de desplazamiento queda parcialmente enmascarado, dando un color blanco/ocre. La Figura 137.a recoge un ensayo realizado en vaso de precipitado, correspondiendo la Figura 137.b a la probeta atacada con ácido sulfúrico al 10% y la Figura 137.c a la probeta anterior ya tratada con cloruro de bario [BaCl<sub>2</sub>].

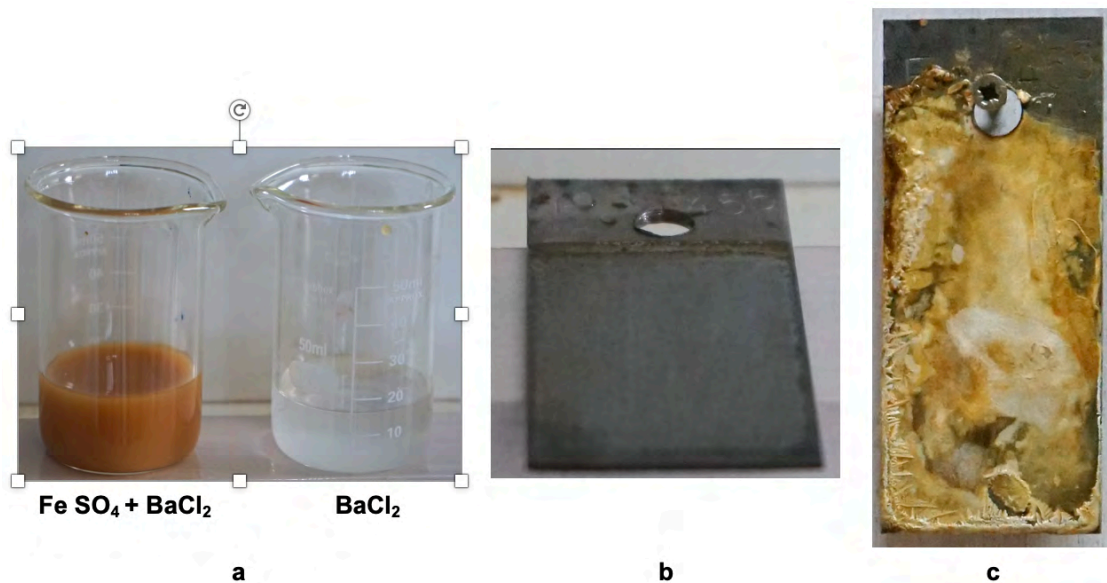
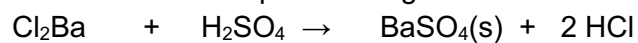


Figura 137. Etapas seguidas con la Probeta F455

4. A partir de cloruro de bario, bajando pH con  $H_2SO_4$ , se precipita sulfato de bario blanco, insoluble en agua.

La correspondiente reacción que tiene lugar:



Pm= 208,23 g/mol. Pm= 98,08 g/mol

La proporción estequiométrica es  $208,23/98,08 = 2,12$ , por lo que la receta debe guardar las siguientes proporciones:

Cloruro de bario	10 g.
Acido sulfúrico	4,7 g.
Agua destilada	100 cc.

Es lo realizado sobre las Probetas F452 y C453 de Hierro y Cobre respectivamente. Figura 138.



Figura 138. Precipitado blanco sobre probetas F452 y C453

## AZUL

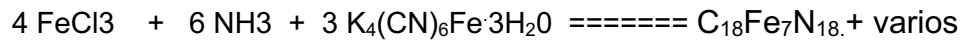
5. Atacando el Hierro con ácido clorhídrico, se obtiene  $\text{FeCl}_3$  in situ. Al añadir  $\text{NH}_3$  y agregar ferrocianuro potásico  $\text{K}_4(\text{CN})_6\text{Fe}$ , aparece un complejo cianurado<sup>293</sup> del catión  $\text{Fe}^{++}$ , conocido como **azul de Prusia** [ $\text{C}_{18}\text{Fe}_7\text{N}_{18}$ ]. La reacción que se produce es compleja, pudiendo simplificarse en las siguientes reacciones:



Pm= 55,85    Pm= 36,5 g/mol

Pm=162,2 g/mol.

<sup>293</sup> Existen teorías que defienden que en el complejo puede estar formado por ligandos que rodean tanto a iones  $\text{Fe}^{++}$  como  $\text{Fe}^{+++}$ .



Pm=162,2 g/mol. Pm= 17,03 g/mol. Pm=422,39 g/mol

En la primera reacción, por cada gramo de  $\text{FeCl}_3$  producido se necesitan  $36,5 \cdot 3 / 162,2 = 0,675$  g. de HCl; En la segunda reacción, las proporciones estequiométricas deben ajustarse a las relaciones (tomando como base el  $\text{FeCl}_3$ )  $17,03 \cdot 6 / 162,2 \cdot 4 = 0,157$ ;  $422,39 \cdot 3 / 162,2 \cdot 4 = 1,953$ . Esto conduce a las siguientes proporciones:

Acido clorhídrico	6,75	g.
Amoniaco (30%)	5,2	g.
Ferrocianuro potásico.	19,53	g.
Agua destilada.	100	cc.

La Figura 139.a y b muestra el ensayo realizado y la Figura 139.c, el resultado de la aplicación de la metodología sobre la probeta de Hierro F451.



a



b



c

Figura 139. Ensayo de producción de azul de Prusia y aplicación a probeta 451

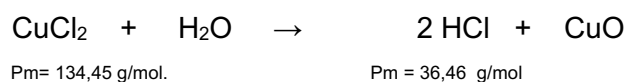
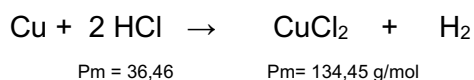
- En el procedimiento anterior, al sustituir el ferrocianuro potásico [hidrolizado contiene el ion  $\text{Fe}^{++}$ ] por ferricianuro potásico [que contiene el ión  $\text{Fe}^{+++}$ ],

el complejo que se forma tiene color verde oscuro, con tendencia al violeta. La Figura 140 muestra la probeta de Hierro F468 tratada por este procedimiento.

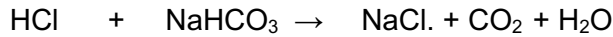


Figura 140. Probeta F468

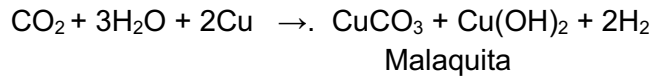
7. Atacando el cobre con HCl, se produce  $\text{CuCl}_2$ <sup>294</sup>, con desprendimiento de  $\text{H}_2$ , cuya hidrólisis produce HCl y tenorita (CuO). Agregando bicarbonato sódico ( $\text{NaHCO}_3$ ), el HCl procedente de la hidrólisis reacciona con el bicarbonato, desprendiendo  $\text{CO}_2$  y generando  $\text{CuCO}_3$  y  $\text{Cu(OH)}_2$ , en proporción 1:1, que corresponde con la fórmula de la malaquita, azul verdoso, además de NaCl que queda depositado y desaparecerá al lavar. Las reacciones que tienen lugar son las siguientes:



<sup>294</sup> El cloruro de cobre (II), en presencia de moléculas de agua como ligandos, forma el complejo  $\text{CuCl}_2(\text{H}_2\text{O})_2$ , de color verde claro.



Pm = 36,46 g/mol    Pm = 84,01 g/mol



Para producir 1 g. de  $\text{CuCl}_2$ , hacen falta  $36,46 \cdot 2 / 134,45 = 0,542$  g. de HCl. A su vez por cada gramo producido de  $\text{CuCl}_2$  anhidro, se producen  $36,46 \cdot 2 / 134,45 = 0,542$  g. de HCl, que reaccionarán con  $84,01 \cdot 0,542 / 36,46 = 1,249$  g. de bicarbonato sódico. Por lo tanto, las proporciones a utilizar serán:

Acido clorhídrico.	0,542 g.
Bicarbonato sódico.	1,249 g.

El procedimiento aconsejado es aplicar en primer lugar con pincel o paletina de cerda sintética una solución al 20% de HCl a la probeta de cobre, dejando que reaccione. A continuación, de igual modo, aplicar sobre la superficie húmeda de la probeta una solución al 20% de bicarbonato sódico, con lo que aparecerá la coloración verdosa de la malaquita. Dejar la reposar varias horas antes de aplicar un protector pasivante.

La Figura 141.a muestra la probeta C456 antes y después de agregar el bicarbonato sódico, y el color azul-verde resultante con este procedimiento.



**Figura 141. Ensayo para color azul verdoso**

8. Otra posibilidad, basada en la serie espectroquímica de Tschusida, es atacar la probeta de cobre, al igual que en la receta anterior, con ácido clorhídrico para producir  $\text{CuCl}_2$ , que en estado hidratado forma un complejo

con el agua de color verde claro, como puede observarse en los ensayos llevado a cabo. Figura 142.a. La adición de oxalato sódico produce la sustitución de ligandos de  $H_2O$  por el ion oxalato  $[(OOC-COO)^-]$  que conduce a un color azul claro. Figura 142.b.

Si se desea obtener un color azul más intenso es suficiente agregar unas gotas de amoníaco  $[NH_3]$  para sustituir ahora el ligando oxalato por el amonio  $[NH_4^+]$ , formándose un nuevo compuesto de coordinación de color azul más intenso. Figura 142.c

Para obtener directamente el color azul más intenso, como procedimiento alternativo, se puede prescindir del oxalato sódico y sustituir directamente los ligandos del agua por el ion amonio. Figura 142.d.

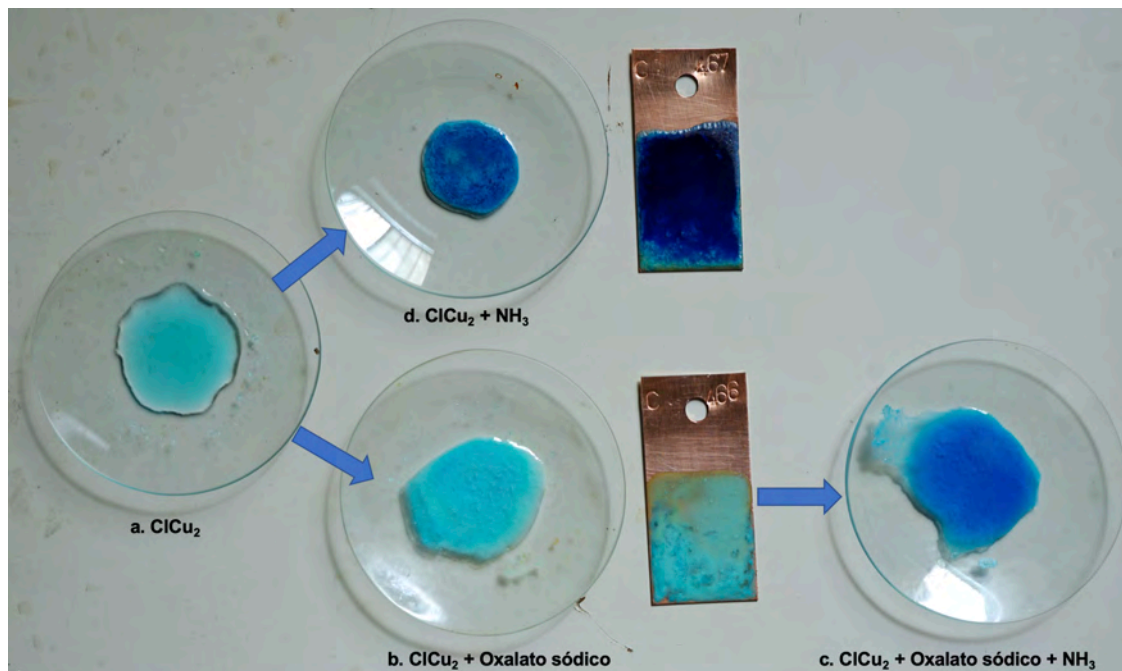


Figura 142. Proceso de generación de color azul

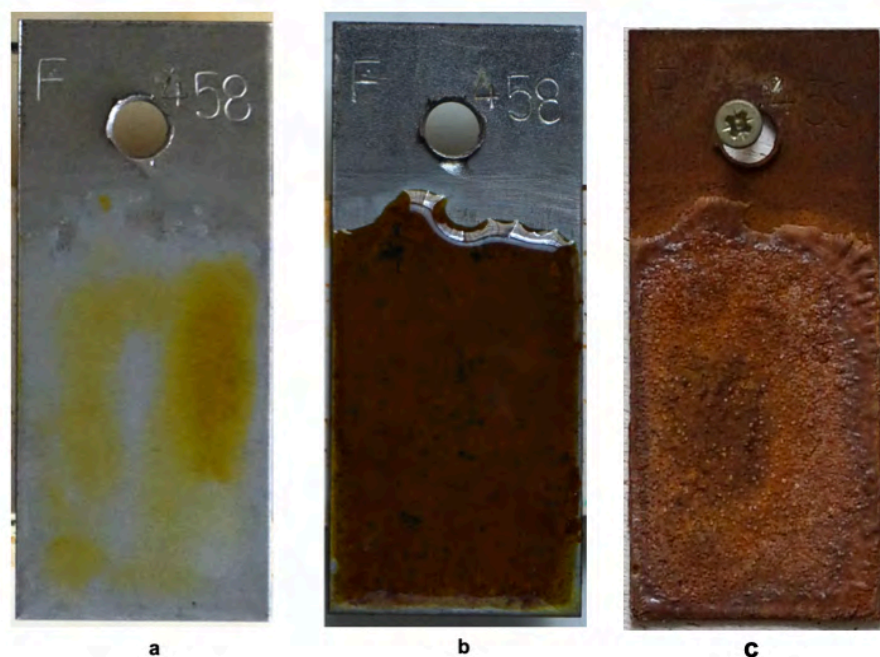


Al reaccionar 2 moles de  $\text{FeCl}_3$  con 3 moles de oxalato sódico, la proporción estequiométrica será  $162,2 \cdot 2 / 134,0 \cdot 3 = 0,807$  g. Lo que implica que para agotar los 1,49 g. de oxalato sódico producidos, serán necesarios  $1,49 \cdot 162,2 \cdot 2 / 134 \cdot 3 = 1,203$  g. de  $\text{FeCl}_3$ . La producción de esta cantidad de  $\text{FeCl}_3$  exige la utilización de  $1,203 \cdot 36,46 / 162,2 = 0,27$  g. de HCl.

En consecuencia, la probeta debe ser tratada con la siguiente receta en solución acuosa:

- a. Acido clorhídrico 0,27 g.
- b. Producir oxalato sódico con:
  - Acido oxálico 1,0 g.
  - Hidróxido sódico. 0,89 g.
- c. Poner el oxalato sódico producido sobre la probeta tratada en a.

La Figura 144 muestra la evolución de la probeta de Hierro F458 con el color final obtenido.



**Figura 144. Obtención de color amarillo tostado sobre Hierro**

10. Se ha ensayado la obtención de color amarillo del cromato de cadmio a través de la siguiente reacción de sustitución del  $\text{Na}^+$  por el  $\text{Cd}^{++}$ :



$P_m = 161,97 \text{ g./mol.}$   $P_m = 183,32 \text{ g./mol}$

Por cada gramo de  $\text{CdCl}_2$  se necesitan  $161,97 / 183,32 = 0,88$  g. de cromato sódico.

En consecuencia, la receta está conformada por una solución acuosa (100 cc.) con las siguientes proporciones:

Cloruro de Cadmio	1 g.
Ácido clorhídrico	2 gotas
Dicromato de sodio.	0,88 g.

Se han preparado dos probetas: F459 de Hierro y C459 de Cobre, que se han tratado con cloruro de cadmio [ $\text{CdCl}_2$ , hidrolizado en medio ácido con HCl para establecer puentes de unión con el metal base de las probetas] y posteriormente se han oxidado con cromato sódico, habiéndose obtenido el precipitado de cromato de cadmio buscado, según se recoge en la Figura 145, que corresponde al color existente a los 30 minutos de su generación.

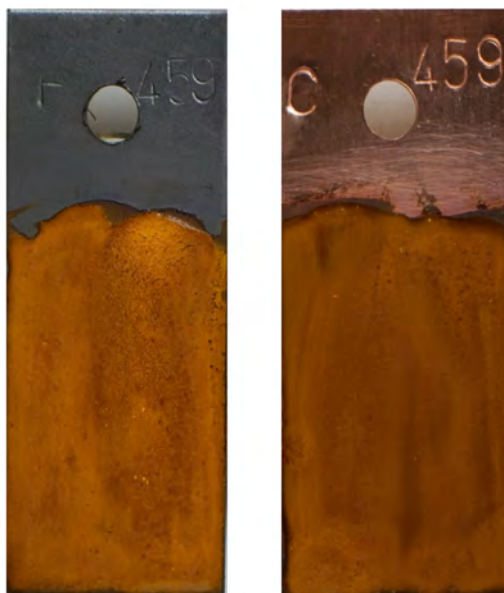


Figura 145. Color amarillo del Cromato de Cadmio

11. El color amarillo en la naturaleza lo presenta la greenochita, que es sulfuro de cadmio  $\text{SCd}$ . Por tanto, en principio a cualquier sal de cadmio, si se le aporta el ion sulfuro  $\text{S}^{2-}$ , como el procedente de la hidrólisis del sulfuro potásico, se producirá  $\text{SCd}$ , que precipitará por ser insoluble, obteniéndose color amarillo.

Sin embargo, se ha querido probar el uso de seleniuro de cadmio como sal aportadora del catión Cd<sup>++</sup>, y no se ha conseguido producir el SCd amarillo sino que al calentar aparece un interesante color rojizo posiblemente de sulfoseleniuro de cadmio<sup>295</sup>, como muestra la Figura 146, sobre la probeta B460.

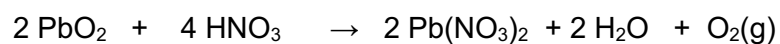


Figura 146. Probeta B460

12. Se ha tratado de sacar el amarillo de cromo por precipitado de Pb, por sustitución, y posterior precipitación en medio básico con dicromato sódico para obtener cromato de plomo, amarillo.

Para llegar a producir cromato de plomo amarillo se han seguido los siguientes pasos:

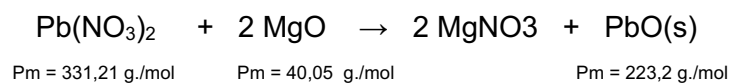
- a. producir sobre las probetas nitrato de plomo (PbO<sub>2</sub> + ácido nítrico) soluble, poniendo los componentes sobre la probeta, según la reacción:



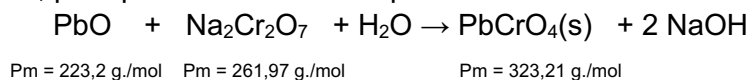
Pm = 239,2 g./mol    Pm = 63,01 g./mol    Pm = 331,21 g./mol

- b. Añadiendo óxido de magnesio [blanco], el magnesio desplazará al plomo, haciéndole precipitar, según la reacción:

<sup>295</sup> Eroles, A.J., Friedberg, A.I. *Color and Structural Character of CdS-CdSe Pigments*. Journal of The American Ceramic Society, nº 48. May 1965. Pp.223-227. Consultado [19.Sep.2019] en: <https://ceramics.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/j.1151-2916.1965.tb14725.x#accessDenialLayout>



- c. En ese momento puede agregarse dicromato sódico, en medio básico, para producir cromato de plomo amarillo insoluble:



Para producir 1 gramo de nitrato de plomo (II) hacen falta  $239,2/331,2 = 0,72$  g. de  $\text{PbO}_2$  y  $331,21 \cdot 2 / (63,1 \cdot 4) = 2,62$  g. de  $\text{HNO}_3$ .

1 g. de nitrato de plomo reacciona con  $40,05 \cdot 2 / 331,21 = 0,242$  g. de  $\text{OMg}$  para producir  $223,2 / 331,21 = 0,674$  g. de  $\text{PbO}$ . Esta cantidad de  $\text{PbO}$  reacciona con  $0,674 \cdot 261,97 / 223,2 = 0,791$  g. de dicromato sódico, para producir  $0,674 \cdot 323,21 / 223,2 = 0,976$  g. de cromato de plomo amarillo. En definitiva, la misma cantidad de nitrato de plomo que se utilice, se transforma en su totalidad, en la práctica, en cromato de plomo amarillo.

La receta podría resumirse en los siguientes términos:

- |                                  |         |
|----------------------------------|---------|
| a. Oxido de plomo $\text{PbO}_2$ | 0,72 g. |
| Acido nítrico.                   | 2,62 g. |
| b. Oxido de Magnesio             | 0,24 g. |
| c. Dicromato sódico.             | 0,79 g. |
| Hidróxido sódico.                | 2 gotas |
| Agua destilada.                  | 100 cc. |

La Figura 147.a y 147.c recogen el color obtenido en las probetas de C464 y B464, habiéndose incluido en la Figura 147.b el paso intermedio con óxido de magnesio, antes de agregar el dicromato sódico sobre la probeta B464 para obtener el cromato de plomo amarillo.

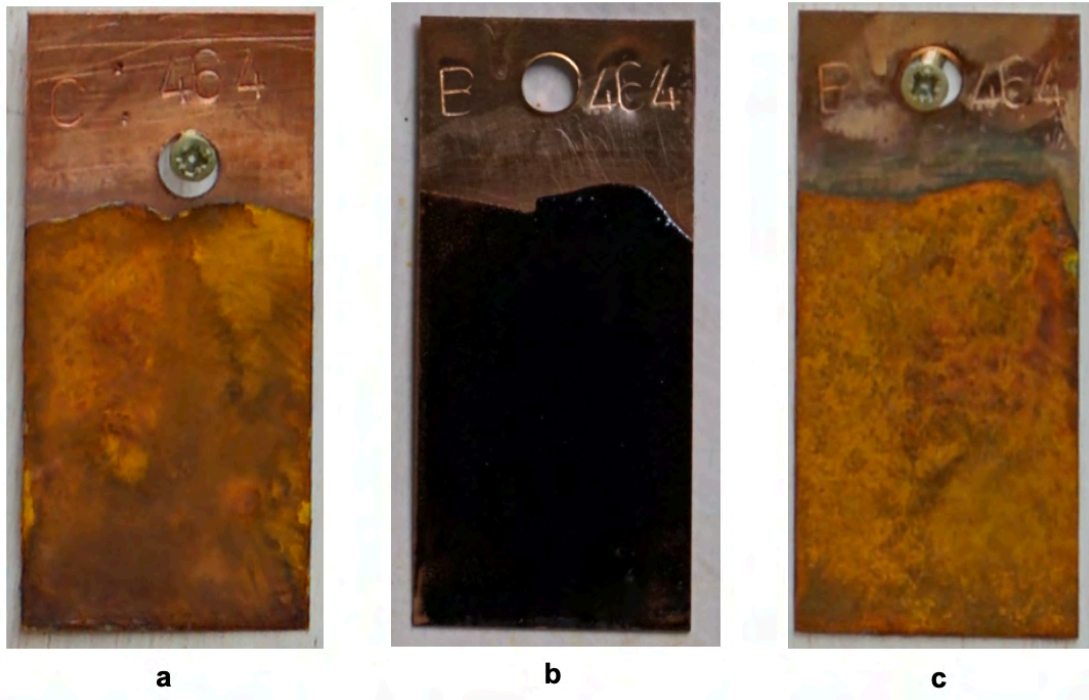


Figura 147. Amarillos de cromato de plomo

## ROJO

13. El ácido acetil salicílico ( $C_9H_8O_4$ , aspirina), en medio ácido y en presencia sulfato ferro-amónico [ $NH_4FeSO_4$ ] forma un complejo rojizo.

La Figura 148 muestra las Probetas C463 de cobre y F463 de hierro tratadas con este procedimiento.

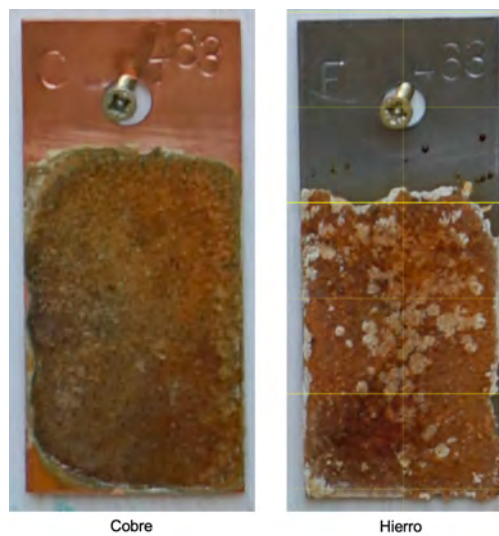
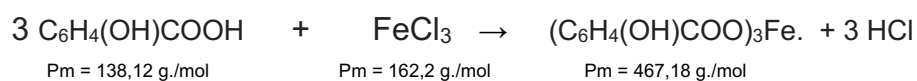
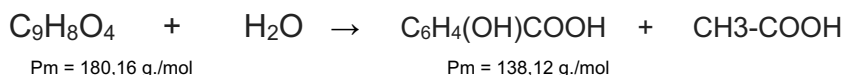


Figura 148. Color rojizo producido con aspirina

14. En la receta anterior, si se sustituye el sulfato ferro-amónico por cloruro férrico [FeCl<sub>3</sub>], el ácido acetil salicílico se hidroliza en medio ácido [al hidrolizarse la aspirina genera ácido acético] y en presencia del catión Fe<sup>+++</sup> forma un complejo púrpura de salicilato de hierro (III), según las reacciones:



El color púrpura, al evaporarse el agua, termina en color amarillo.

Las proporciones estequiométricas de esta reacción son las siguientes: por cada gramo de ácido acetilsalicílico hacen falta 162,2/(138,12\*3) \*136,12/180,16 = 0,30 g. de FeCl<sub>3</sub>. La receta resultante es la siguiente:

Aspirina	2 g.
Cloruro férrico	0,6 g.
Acido clorhídrico.	2 gota
Agua destilada.	20 cc.

La Figura 149 muestra las Probetas 466\* de bronce, cobre, latón, zinc y hierro tratadas con este procedimiento.

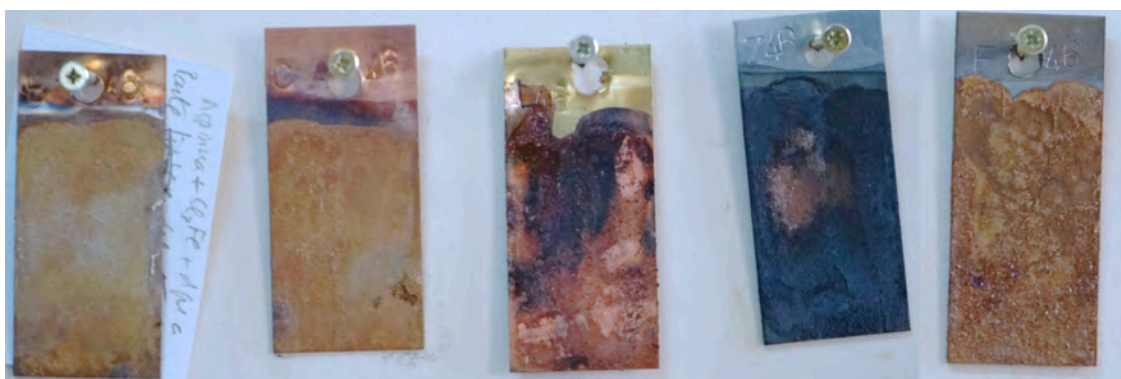


Figura 149. Color violeta/amarillo producido con aspirina

15. El color rojo en la naturaleza lo tiene la cuprita, que es óxido cuproso, Cu<sub>2</sub>O. El procedimiento para su obtención ha sido a partir del cloruro

cuproso en solución ácida, reduciendo la acidez con hidróxido sódico para subir a  $\text{pH} > 10$ , que según el diagrama de Pourbaix (Figura 150) la cuprita es estable en esa zona. El hidróxido, o mejor dicho el óxido  $\text{Cu}_2\text{O}$  hidratado es inestable y de color amarillo, pero por calentamiento pierde el agua y produce cuprita roja.

La fórmula es la siguiente:

Primera etapa:

Cloruro cuproso. 2 g.  
 Acido clorhídrico. 3 gotas

Segunda etapa

Hidróxido sódico. 0,5 g.  
 Agua destilada. 10

Tercera etapa

Calentamiento al rojo con soplete.

La Figura 151 muestra la etapa de calentamiento con soplete hasta una temperatura próxima al rojo vivo para formar cuprita. Figura 152 corresponde las Probetas B465 y C465 tratadas con este procedimiento.

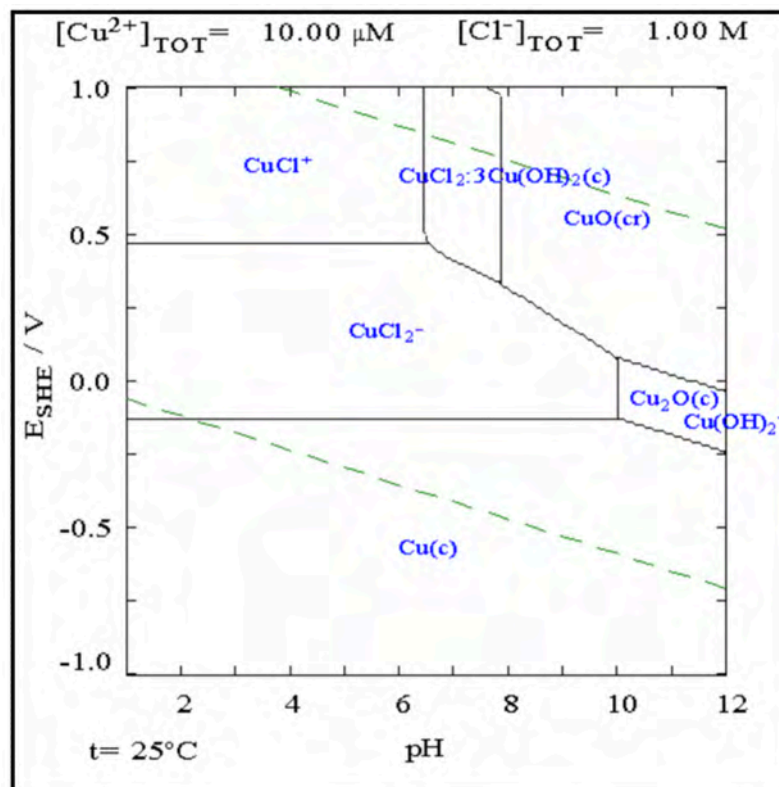


Figura 150. Sistema Cu – Cl – H<sub>2</sub>O



Figura 151. Proceso de calentamiento al rojo vivo para producir cuprita



Figura 152. Probetas con cuprita roja

### 3.4. Pincel electroquímico

Una aplicación específica de interés para los objetivos perseguidos en este trabajo ha sido el diseño de un pincel electroquímico capaz de forzar reacciones redox utilizando la funcionalidad de la célula electrolítica. Se trata de utilizar como ánodo de la célula la punta del pincel, dotándole de un sistema de acumulación o de adsorción/absorción de la solución electrolítica. El cátodo puede ser cualquier soporte adecuadamente preparado capaz de conducir la corriente eléctrica.

En la Figura 153 se recoge un primer prototipo elemental de pincel que incluye el concepto de electrodeposición de un metal sobre un soporte, consiguiéndose así un recubrimiento metálico que posteriormente pueda ser atacado con cualquier receta para generar color sobre el metal electroquímicamente depositado. Este concepto puede, además, ser utilizado como una técnica de dibujo sobre cualquier soporte metálico o previamente preparado para hacerlo conductor de corriente eléctrica y, así, ser utilizado como electrodo. Esta técnica también es válida, dependiendo de los metales empleados y del electrolito, sin necesidad de aplicar corriente eléctrica continua, si bien esta puede acelerar el procedimiento.

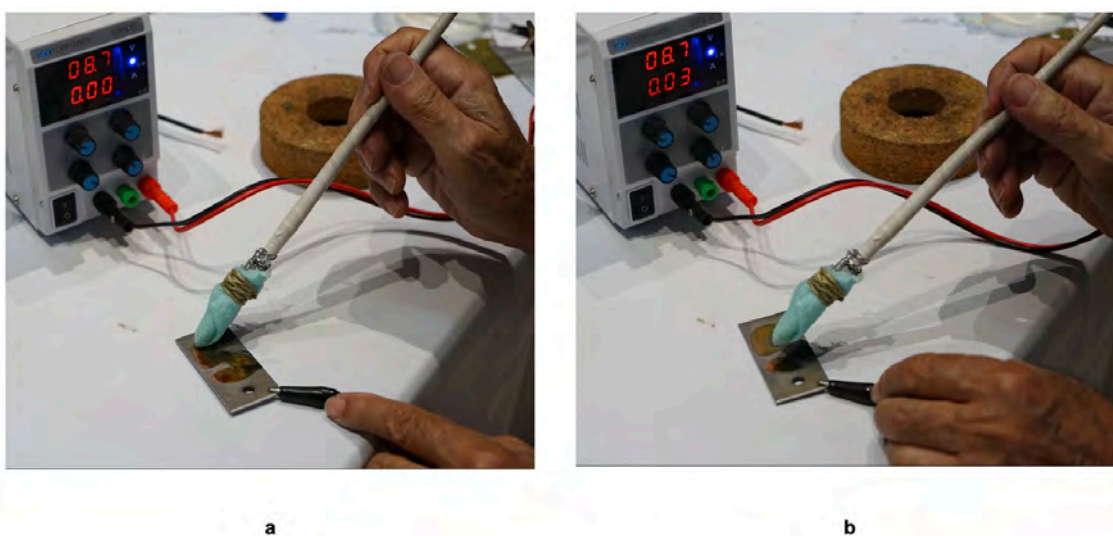


Figura 153. Primeros ensayos del pincel electrolítico sobre algunos soportes

La Figura 154 muestra, a título indicativo, algunas pruebas de su utilización sobre soporte metálico de Hierro (Figura 154.a y 154.b) y de Zinc (Figura 154.c) que incluye también un soporte de madera con carga de resina y polvo de Zinc marcado mediante el pincel electroquímico.

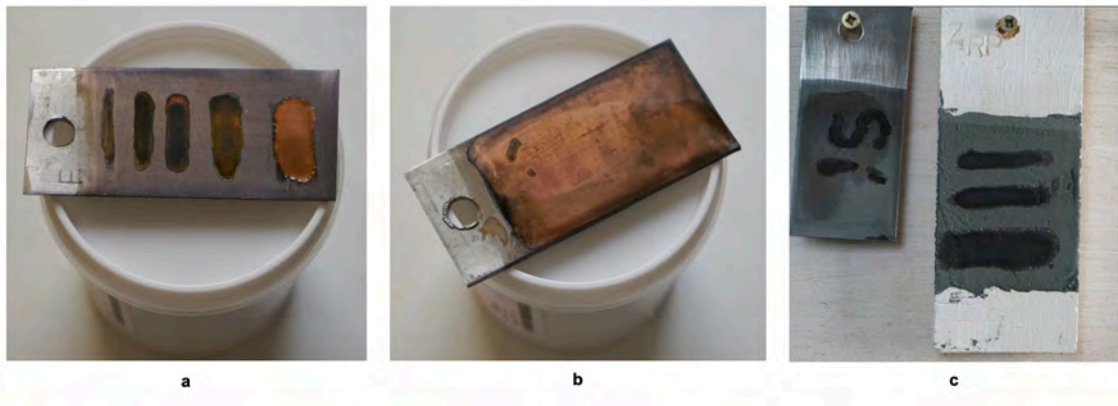


Figura 154. Primer prototipo de pincel electroquímico

La Figura 155 recoge algunos bocetos realizados como ideas para configurar sistemas alternativos que pudieran emplearse en pruebas adicionales a las anteriormente citadas, habiéndose materializado en los pinceles de las Figuras 156.a, b, f y g. Los pinceles de esponja se ha comprobado que funcionan bien, lo que no ha ocurrido con los pinceles de agua adaptados con electrodo, posiblemente por ser de fibras sintéticas que no conducen la corriente eléctrica aún estando embebidos en solución electrolítica. Por ello, se ha probado fabricar un pincel de cerda natural [pelo de jabalí] que observado al microscopio muestra unas irregularidades en cada pelo que facilita el paso de la solución electrolítica entre sus cerdas. Las pruebas realizadas arrojan

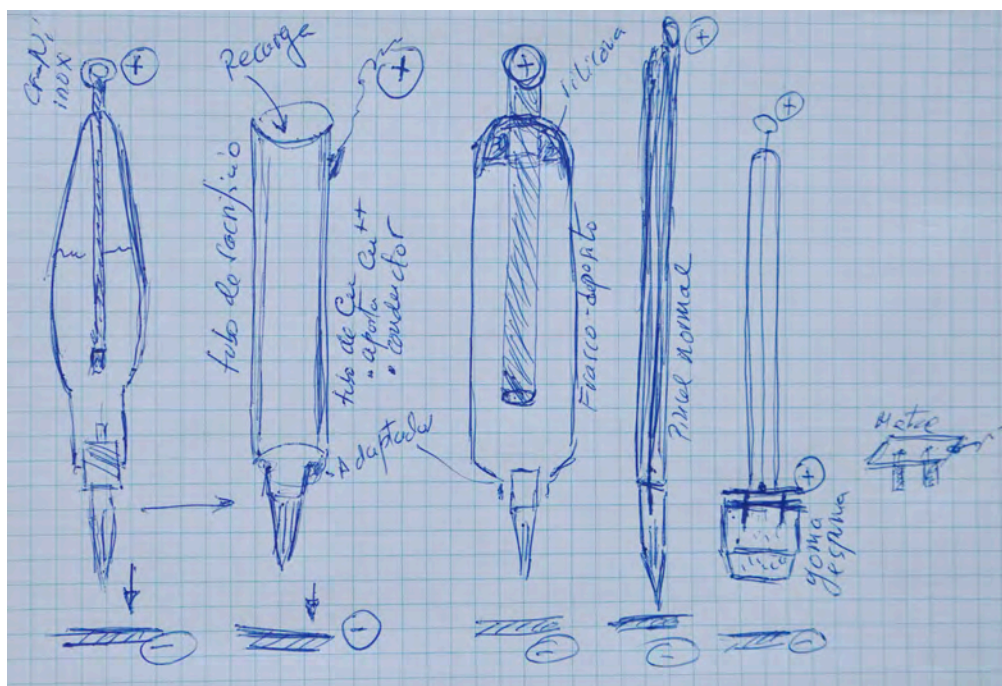
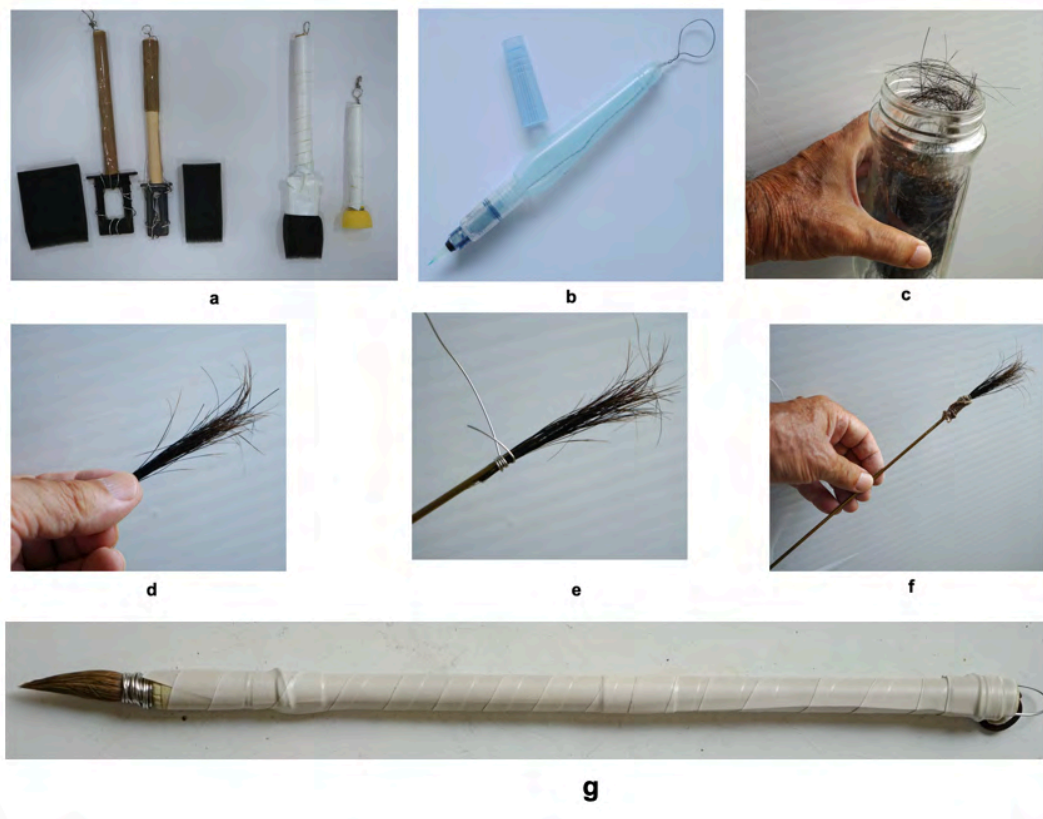


Figura 155. Bocetos de pinceles electrolíticos



**Figura 156. Prototipos de pinceles electroquímicos**

que la cerda natural acumula mayor cantidad de electrolito y, en consecuencia, facilita el movimiento de electrones para realizar la electrólisis. Finalmente se adaptó un pincel japonés de pelo de marta [Figura 156.g], dotándole de un alambre de acero inoxidable conectado a la base de la virola de madera, que funciona bien.

La Figura 157 corresponde a ensayos de conductividad de tres probetas de madera con carga de polvo de hierro por espolvoreado [Figura 157.a.1] que resultan no ser conductoras. Sin embargo, la probeta de la Figura 157.a.2, idéntica a la anterior, ha sido sometida al pincel de esponja embebido con una solución de sulfato de cobre (15%) para provocar una reacción de sustitución del catión  $\text{Cu}^{++}$  del sulfato por el  $\text{Fe}^{++}$ , que hace que la capa de cobre depositada sea conductora de la corriente, habiéndose acelerado la deposición de cobre con un potencial de 6,3V y 0,24 Amperios. La probeta de madera de la Figura 157.a.3 corresponde a una carga de grafito alisado con cuchara, a la que se ha aplicado una electrodeposición de cobre en la célula electrolítica en pocos minutos, con lo que se obtiene un delgado recubrimiento de cobre que es conductor de la corriente eléctrica según refleja la fuente de alimentación [6,3 Voltios y 0,86 Amperios].

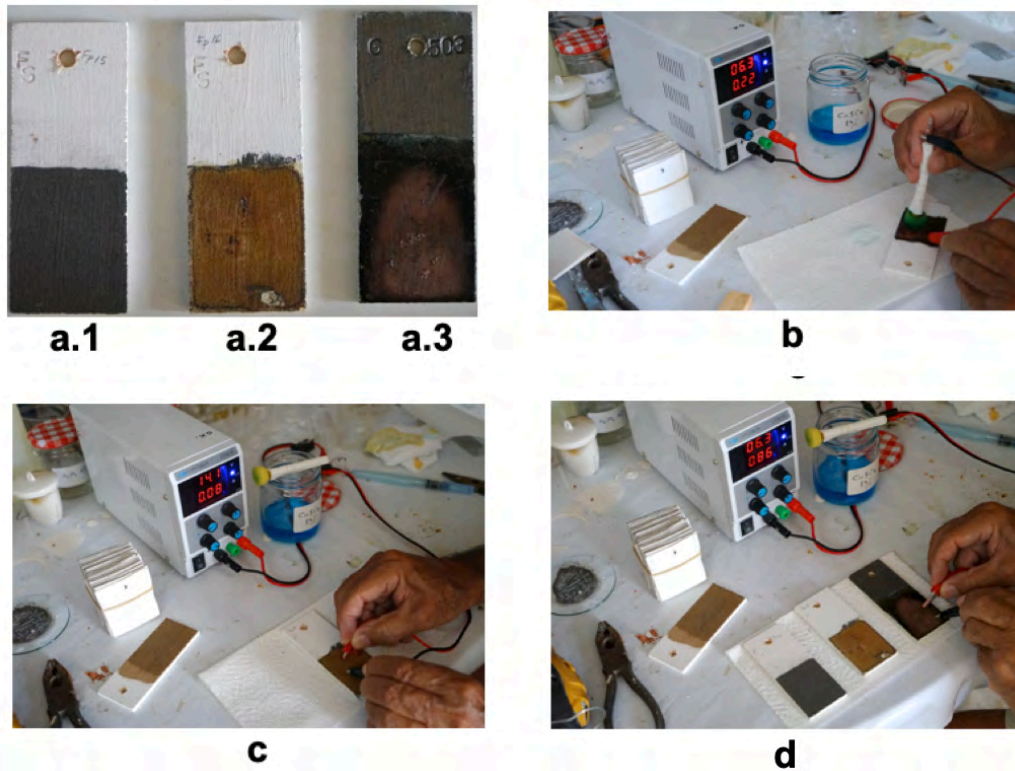


Figura 157. Ensayos de conductividad

En la Figura 157.b, con una corriente continua de 6,3 Voltios y 0,22 Amperios, se deposita cobre de tamaño atómico sobre la probeta de madera con carga de polvo de hierro, que no era conductora de la corriente, para pasar a serlo por el recubrimiento de cobre. La Figura 157.c muestra que la fuente de alimentación detecta una intensidad de corriente de 0,08 Amperios y 14.1 Voltios de tensión, lo que evidencia que el depósito se hace conductor de electrones.

La Figura 158 muestra dos probetas de hierro a las que, tras su lijado y decapado [en este caso con  $\text{H}_2\text{PO}_4$  al 10%], se ha aplicado en la primera probeta el pincel electrolítico de esponja (circular) con sulfato de cobre, y en la segunda probeta con pincel de pelo de marta con la solución de sulfato de cobre al 15% en peso.



Figura 158. Probetas de Hierro con electrodeposición de cobre

### 3.5. Tratamientos de pasivación

Una vez obtenido un color deseado, deben frenarse las reacciones químicas-electroquímicas para que las reacciones iniciadas no progresen porque podrían, en su caso, generar algún producto de reacción distinto que implique un cambio del color hasta entonces obtenido. Este frenado se hace por lavado de los productos de reacción, lavado que puede arrastrar parcialmente la capa de pátina si no tiene buena unión química con el metal base, lo que obliga a la insistencia del procedimiento hasta conseguir el objetivo que se desee. En función de las circunstancias, puede evitarse el lavado modificando el pH para llevarlo a un valor neutro ( $\text{pH}=7$ ), seguido en todo caso de la aplicación de una capa protectora que impida el contacto físico entre la pátina generada y el medio ambiente, proceso que en su conjunto se denomina pasivación.

De lo contrario, las patinas evolucionarán con el tiempo porque forman parte de la esencia de la propia materia, particularmente en ambientes húmedos cambiantes. Durante el trabajo realizado y hasta principios de 2019 no se ha querido pasivar ninguna probeta para comprobar la evolución temporal del color por comparación de fotografías de calidad captadas en distintos momentos. Posteriormente se han realizado pruebas de pasivación por distintos procedimientos que se han validado con ensayos de envejecimiento acelerado.

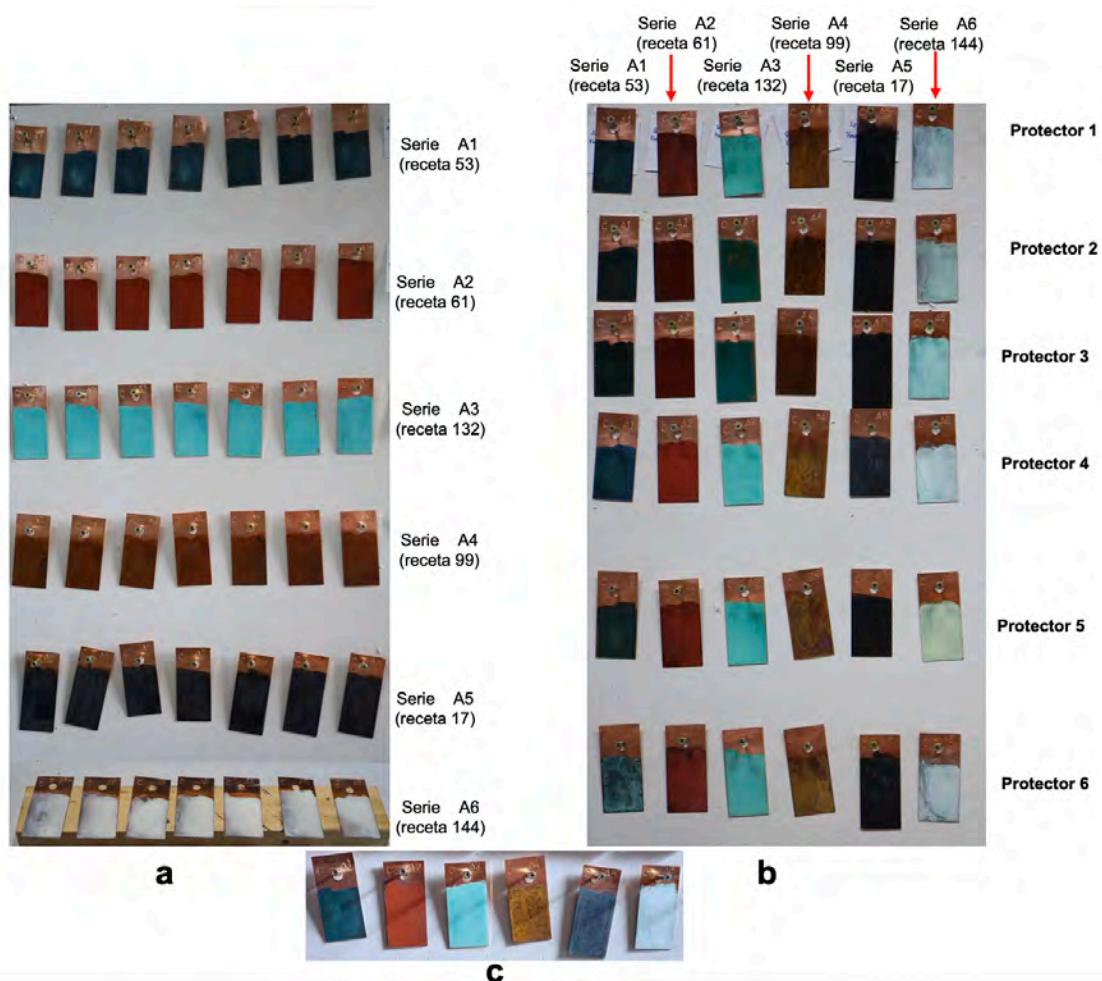
Se han utilizado para este fin seis tipos de agentes protectores pasivantes (Figura 159):

1. Protector *Clear Guard* de Sculpture Nouveau, (aplicado con pincel de abanico)
2. Resina epoxi de acabado Smooth-On (aplicado con pincel de abanico)
3. Resina poliéster transparente (aplicada con pincel de abanico)
4. Laca Zapón (spry)
5. Protector de ultravioleta Hahnemühle (spry)
6. Emulsión de cera de abeja y parafina Alex (pincel y trapo)



Figura 159. Agentes protectores

Para comparar su efectividad, se prepararon seis lotes de probetas de cobre [marcados a punzón con A1 a A6], a los que se aplicaron una misma receta a cada lote, según se recoge en la Figura 160.a. Las probetas atacadas han reposado el



**Figura 160. Probetas atacadas y reordenadas**

tiempo de maduración que corresponde a cada receta/color, procediéndose posteriormente, según cada caso, a su lavado al chorro con agua de grifo, dejado secar las probetas atacadas al aire libre durante 24 horas para asegurar que la humedad retenida sea mínima.

Entonces se han montado seis conjuntos idénticos con probetas de cobre atacadas con las distintas recetas para disponer de distintos colores en cada conjunto (Figura 160.b), guardándose un conjunto sobrante de seis probetas con distinto color como referencia del proceso (Figura 160.c). Solo después de esta secuencia operativa se ha procedido a aplicar a cada conjunto de probetas (A1 a A6 con distinto color) el mismo agente protector por líneas horizontales de la Figura 160.b, dejando que seque o polimerice cada pasivante durante 24 horas.

Preparadas de este modo todas las probetas del panel, se han sometido -con la excepción del conjunto de referencia - a la Cámara de Envejecimiento existente en la Cátedra de Materiales, Procedimientos y Técnicas Pictóricas de la Facultad de Bellas Artes de la UCM (Figura 161), en la que se ha seleccionado luz ultravioleta durante un ciclo 24 h. efectivas, ya que el diseño de esta Cámara apaga las lámparas radiantes cuando el interior alcanza una temperatura de unos 50°C, temperatura que baja lentamente con el sistema de refrigeración por circulación de aire, encendiéndose de nuevo el conjunto de lámparas de modo automático. En la práctica, en días calurosos del mes de junio (2019), el periodo de permanencia de las probetas en el interior de la Cámara ha superado las 48 horas.



**Figura 161. Cámara de envejecimiento**

La Figura 162 recoge una comparación entre las probetas de referencia sin protector alguno, y con protectores/pasivadores antes y después de pasar por la Cámara de envejecimiento tras la finalización del ciclo de 24 horas efectivas sometidas a la acción de la luz ultravioleta.



Esta comparación permite hacer las siguientes consideraciones:

1. En general, todos los agentes utilizados oscurecen ligeramente los colores de las patinas
2. Los productos protectores y pasivantes 2 y 3, es decir de resina epoxi y poliéster respectivamente, son los que producen menor protección frente a la luz ultravioleta, oscureciendo en mayor grado todos los colores que los restantes productos. En contrapartida, aportan una calidad de acabado de interés tanto por la dureza de la protección de las pátinas como por el brillo de la capa superficial que aparenta estar pulimentada, lo que puede constituir un efecto deseado en la realización de obra plástica.
3. La laca Zapón protege bastante bien a los distintos colores probados. Supera en este sentido al protector *Clear Guard*, que en todo caso ofrece un buen comportamiento.
4. El Protector específico para rayos ultravioletas Hahnermülher no presenta ventajas comparativas con respecto a los demás protectores y funciona deficientemente con el blanco, amarilleando este color.
5. El protector tradicional de cera Alex tiene un comportamiento correcto, aunque apaga más que la laca Zapón algunos colores, como el rojo y el verde claro. Por el contrario, en la probeta verde de la serie A1, correspondiente a la Receta 53, la cera tiene mejor comportamiento que la laca Zapón.

### 3.6. Pruebas de envejecimiento

Para realizar estas pruebas se han seleccionado un conjunto de 160 probetas de cobre y de bronce con distintos colores a las que se ha aplicado el citado recubrimiento que se comercializa específicamente como protector contra rayos ultravioletas (Spry Hahnermülher).

Para la medir el color de las probetas existen diversos sistemas colorimétricos para su identificación, tratando todos ellos de representar el color matemáticamente en tres o más dimensiones. Los más utilizados son los denominados:

- **Sistema HSB**<sup>296</sup> (siglas de Tono o Matiz [**H**uge], **S**aturación y **B**rillo).  
Figura 163.

---

<sup>296</sup> [Consulta 17-05-2019]. Disponible en: <https://www.blogartesvisuales.net/disenio-grafico/color/modelo-de-color-hsb/>

- *Tono* es el color reflejado o transmitido a través de un objeto. Se mide como una posición en la rueda de colores estándar y se expresa en grados, entre 0° y 360°. Normalmente, el tono se identifica por el nombre del color, como rojo, naranja o verde.



Figura 163. Sistema HSB

- *Saturación*, es la fuerza o pureza del color. La saturación representa la cantidad de gris que existe en proporción al tono y se mide como porcentaje comprendido entre 0% (gris) y 100% (saturación completa). En la rueda de colores estándar, la saturación aumenta a medida que nos aproximamos al borde de la misma y disminuye a medida que nos acercamos al centro.
- *Brillo* es la luminosidad u oscuridad relativa del color y se suele medir como un porcentaje comprendido entre 0% (negro) y 100% (blanco).

- **Sistema RGB**<sup>297</sup> (siglas en inglés del rojo [Red], verde [Green] y azul [Blue].  
Figura 164.

Representa el color en términos de la intensidad de los colores primarios de la luz, por síntesis aditiva. Al no establecer patrones fijos para los tres colores primarios, las mezcla de ellos pueden presentar espacios de color con matices distintos, no considerándose un sistema preciso. Se utiliza frecuentemente en sistemas que construyen imágenes utilizando rayos luminosos.

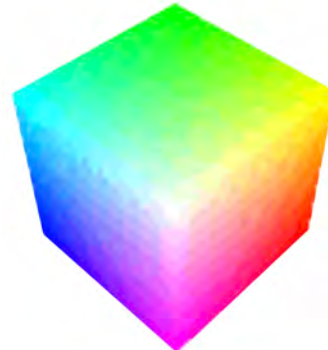


Figura 164. Sistema RGB

<sup>297</sup> Figura adaptada de Nevit Dilmen. [Consulta 17-05-2019]. Disponible en <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Colorcube-1.png>

- **Sistema CIELab**<sup>298</sup> (las siglas CIE corresponden al sistema desarrollado por la Comisión Internacional de Iluminación [Eclairage], y las siglas Lab [realmente  $L^*a^*b^*$ ] que se refieren a un espacio de color tridimensional, en donde  $L^*$  es la luminosidad de negro a blanco [ $L^*=0$  indica negro y  $L^*=100$  indica blanca]),  $a^*$  escala de rojo a verde [valores negativos indican verde mientras valores positivos indican rojo] y  $b^*$  es la componente del color azul hacia el amarillo [valores negativos indican azul y valores positivos indican amarillo]. Figura 165.

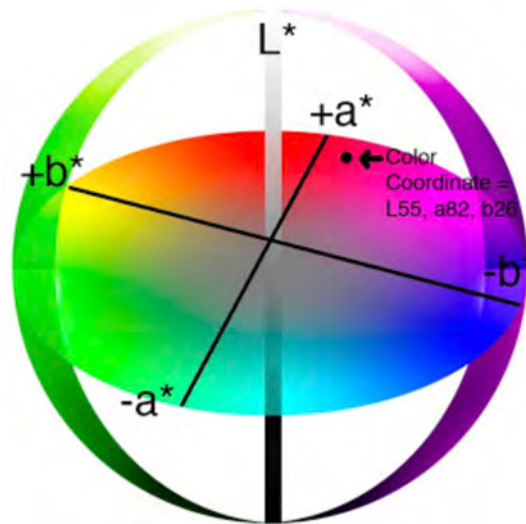


Figura 165. Sistema CIELab

- **Sistema CMYK**<sup>299</sup> (siglas de **C**yan, **M**agenta, **Y**ellow [amarillo] y **K**ey [negro]). Es un modelo de mezcla de color sustractivo que procede de la evolución del sistema tradicional RYB, convertido en la actualidad en un estándar. El principio básico es el registro de la luz reflejada por una superficie de la que se desea registrar su color, ya que el resto del espectro queda absorbido por la misma.

Las Figuras 166 a 169 recogen las 160 probetas de cobre y de bronce seleccionadas para este ensayo de estabilidad de los colores, para el que se han introducido en la Cámara de Envejecimiento (Figura 170), aplicando un ciclo de permanencia de 24 horas efectivas de iluminación para constatar como afecta la luz ultravioleta al color de las probetas.

<sup>298</sup> [Consulta 17-05-2019]. Disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Espacio\\_de\\_color\\_Lab](https://es.wikipedia.org/wiki/Espacio_de_color_Lab)

<sup>299</sup> [Consulta 17-05-2019]. Disponible en: <https://neoattack.com/neowiki/cmyk/>

Se ha elegido el sistema CMYK para dejar constancia de los colores de las probetas. Para ello, se ha recurrido a tomar fotografías de calidad y a la utilización del software *Adobe Photoshop CC 2019*, midiendo el color de la fotografía tomada de cada probeta antes y después de pasar por la Cámara de envejecimiento.

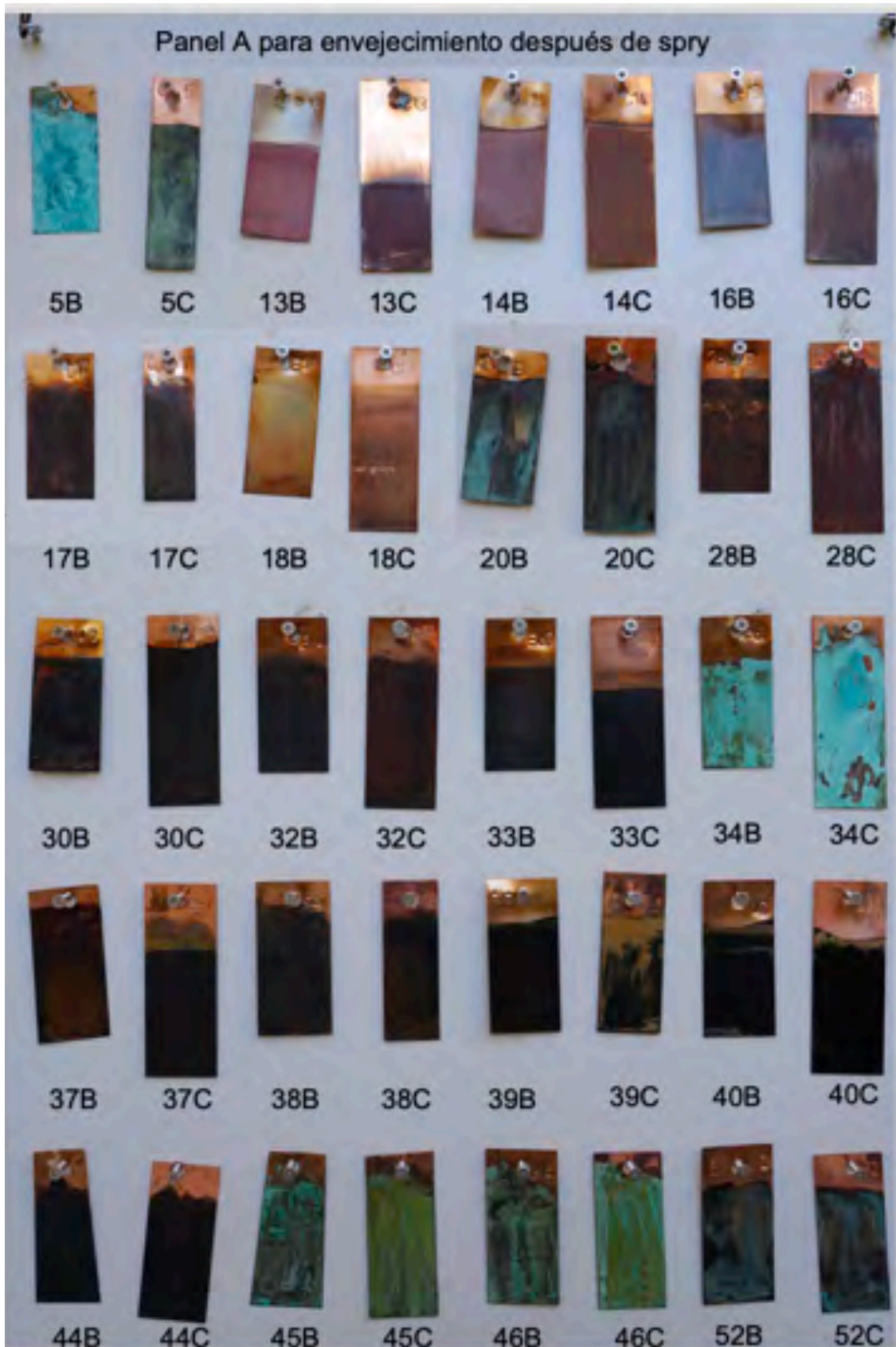


Figura 166. Paneles de probetas de bronce y cobre para cámara de envejecimiento (5-52)

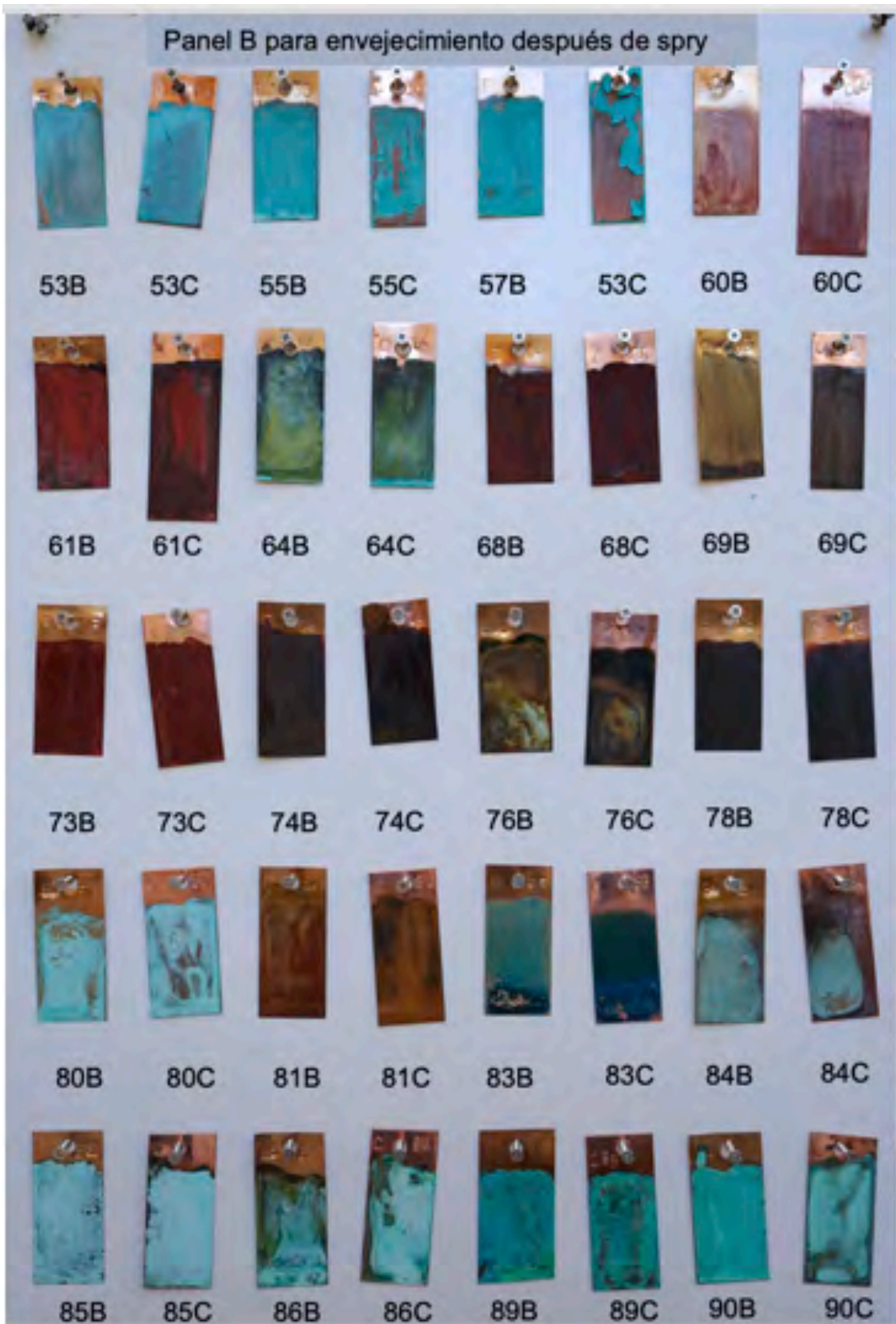


Figura 167. Paneles de probetas de bronce y cobre para cámara de envejecimiento (53-90)

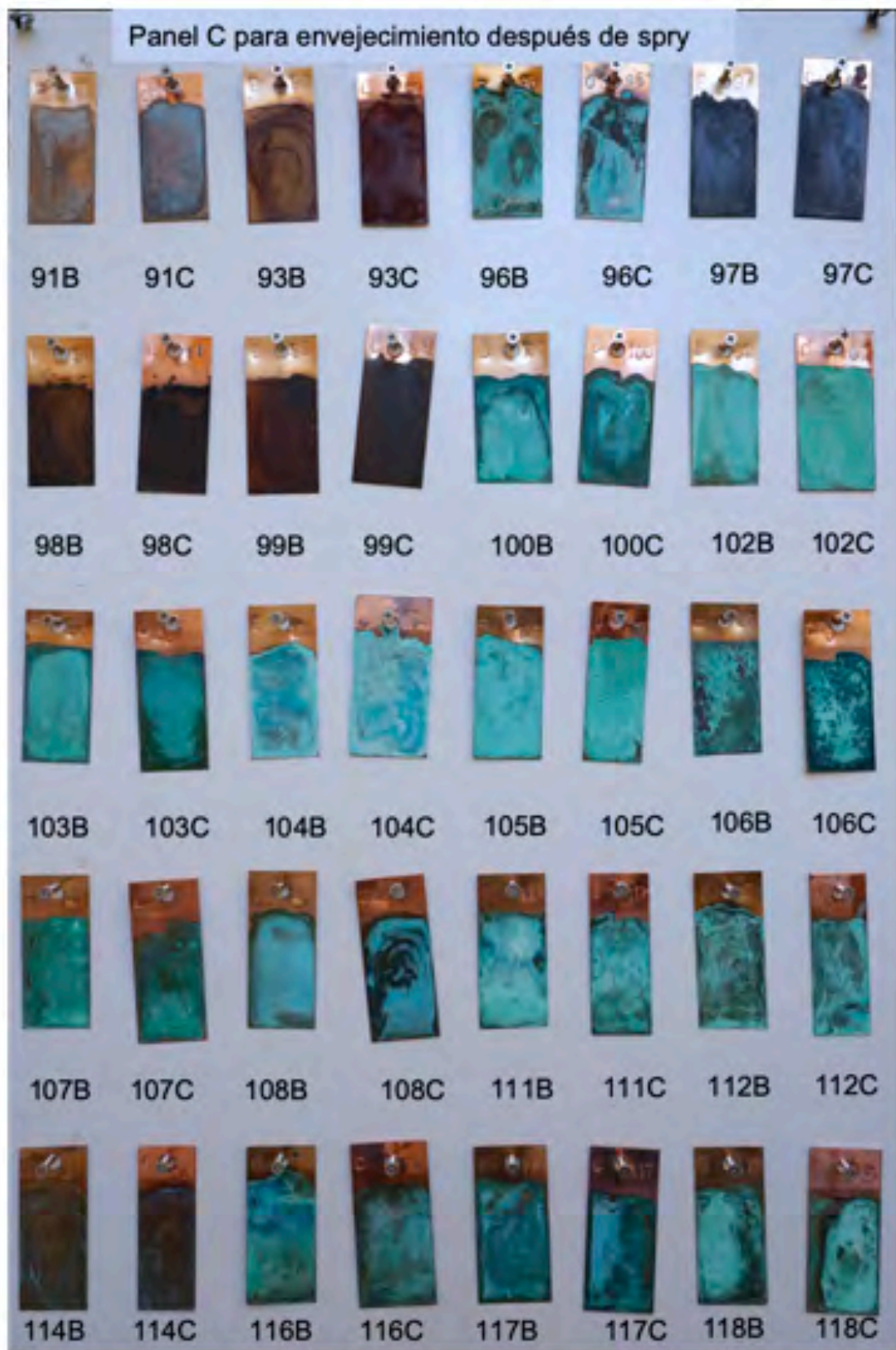


Figura 168. Paneles de probetas de bronce y cobre para cámara de envejecimiento (91-118)

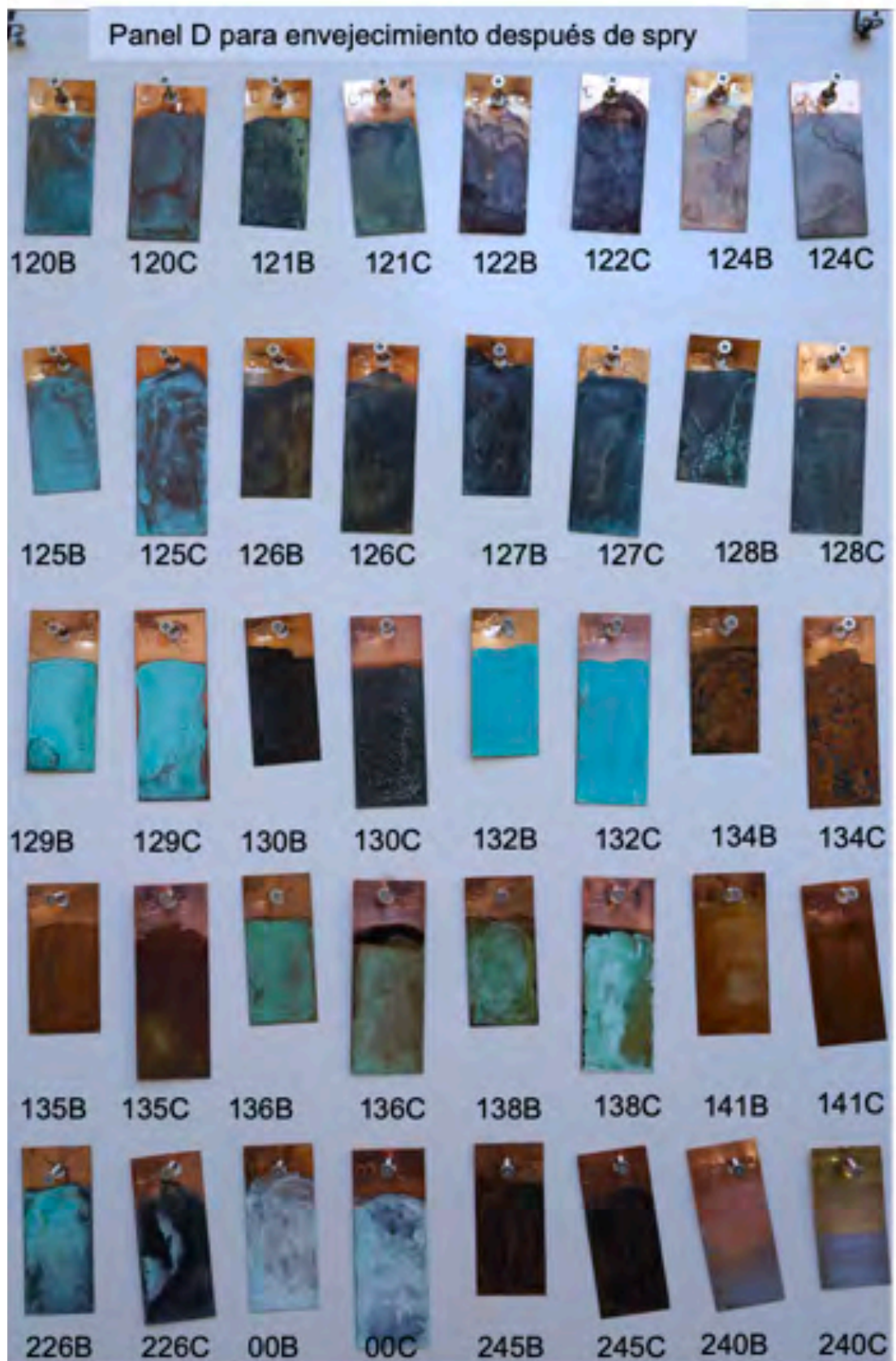


Figura 169. Paneles de probetas de bronce y cobre para cámara de envejecimiento (120-240)



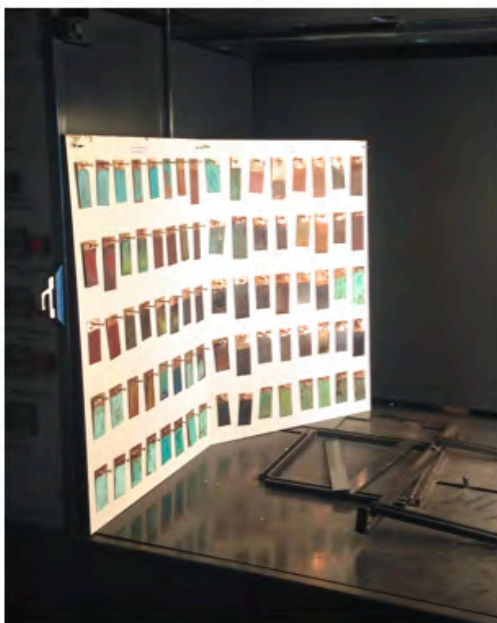
a



b



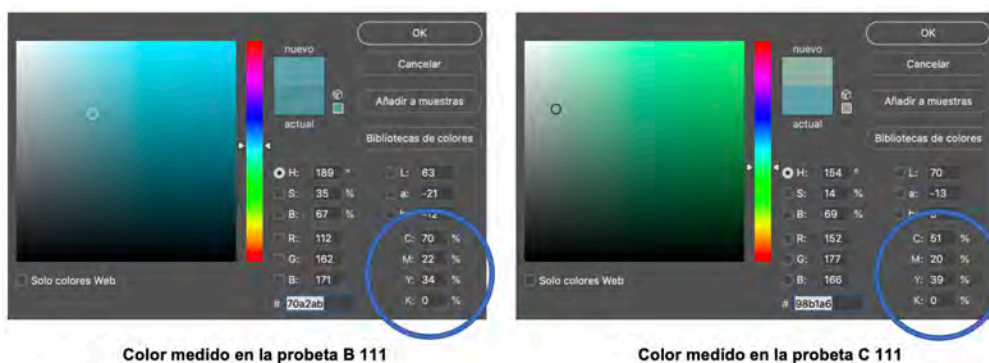
c



d

Figura 170. Cámara de Envejecimiento

La Figura 171 recoge, a título de ejemplo, el resultado de la medición de color de las probetas de bronce y de cobre números 111 con dicha aplicación. Aunque se ha utilizado el sistema CMYK, el software es muy flexible y permite disponer de la información en los distintos sistemas, según puede apreciarse en la citada figura.



**Figura 171. Ejemplos de toma de datos de color con sistema CMYK**

Las Tablas 61 a 65 muestran los parámetros CMYK para cada una de las probetas, habiéndose realizado la medición del color en el centro de las mismas, considerando un área de medición de 101 x 101 pixels.

Del análisis de las probetas sometidas a luz ultravioleta en la Cámara caben destacar los siguientes aspectos:

1. El ciclo de la Cámara de envejecimiento, en la práctica produce un stress térmico a todas las probetas, al menos en el periodo (Junio 2019) que se realizaron las pruebas, que fue coincidente con una ola de calor en Madrid. El ciclo de 24 horas efectivas de luz ultravioleta supuso en este caso 52 horas de permanencia de los paneles con probetas en el interior de la Cámara, con sus periodos de lámparas encendidas y apagadas por elevada temperatura interior derivada de la energía aportada por la radiación ultravioleta, energía que el extractor de la Cámara de envejecimiento no consigue disipar para aportar un ciclo continuo de trabajo.
2. El calentamiento y los cambios térmicos, en alguna probeta aislada ha producido desprendimiento de la pátina, lo que induce a pensar que, al margen que la adherencia de la capa de pátina fuera baja, el protector no ha funcionado como barrera de contención suficiente para evitar tal desprendimiento. Muy posiblemente otros protectores hubieran evitado este fenómeno, aunque no se han realizado pruebas específicas para certificar tal afirmación.

3. Los colores azules tienden al verde, por lo que deben ser protegidos lo más rápidamente posible.
4. En términos generales, los colores permanecen en parámetros similares en cuanto a sus matices, tonos y brillos.

				BRONCE				COBRE			
				Antes		Después		Antes		Después	
RECETA	5	R-	182	Color Ref.	VERDES			Color Ref.	VERDES		
	Sulfato de cobre		5	Fuente	RH.B.4			Fuente	RH.B.4		
	Bicarbonato amónico		20		1,129°				1,129°		
	Bitartrato Potásico		pasta								
	Pasta										
RECETA	13	R-	162	Color Ref.	VERDES			Color Ref.	VERDES		
	Nitrato de cobre		10-20	Fuente	CP.B.24			Fuente	CP.B.24		
	Agua destilada				Pág. 88				Pág. 88		
	Ebullición										
RECETA	14	R-	105	Color Ref.	VERDES			Color Ref.	VERDES		
	Sulfato de cobre		10	Fuente	RH.B.17			Fuente	RH.B.17		
	Acetato de cobre		4		1,28°				1,28°		
	Nitrato potásico		4								
	Agua destilada		100								
	Ebullición										
RECETA	16	R-	13	Color Ref.	NEGROS			Color Ref.	NEGROS		
	Tiosulfato de sodio		0,7	Fuente	CP.B.12			Fuente	CP.B.12		
	Nitrato de hierro		5		Pág. 66				Pág. 66		
	Agua destilada		100								
	60°C										
RECETA	17	R-	Pretratamiento	Color Ref.	NEGROS			Color Ref.	NEGROS		
	Sulfuro potásico (K <sub>2</sub> S)		2,5	Fuente				Fuente			
	Agua destilada		100								
	90°C										
RECETA	18	R-	Decapado	Color Ref.	NEGROS			Color Ref.	NEGROS		
	Acido nítrico		10%	Fuente				Fuente			
	Agua destilada		90%								
RECETA	20	R-	31	Color Ref.	AZULADO			Color Ref.	AZULADO		
	Original Blue		4,2	Fuente	CP.B.10			Fuente	CP.B.10		
	Cu(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>		6,5		Pág. 64				Pág. 64		
	C/NH <sub>4</sub>		100								
	H <sub>2</sub> O										
	70°C										
RECETA	28	R-	14	Color Ref.	NEGROS			Color Ref.	NEGROS		
	Nitrato Férrico		1,2	Fuente	CP.B.13			Fuente	CP.B.13		
	Sulfuro potasio		1,2		Pág. 66				Pág. 66		
	Sulfuro amónico		3								
	Amoniaco										
	70-80°C										
RECETA	30	R-	16	Color Ref.	NEGROS			Color Ref.	NEGROS		
	Hidróxido sódico		1,5	Fuente	RYF.B.17			Fuente	RYF.B.17		
	Trisulfuro de Antimonio		0,4		Pág. 212				Pág. 212		
	Agua destilada		100								
	70-80°C										
RECETA	32	R-	32	Color Ref.	AZULADO			Color Ref.	AZULADO		
	Sulfuro de Cobre		1	Fuente	RYF.B.20			Fuente	RYF.B.20		
	Sulfuro amónico		0,5		90°C Ver Pág. 215				90°C Ver Pág. 215		
	Agua destilada		100								
	90°C										
RECETA	33	R-	33	Color Ref.	AZULADO			Color Ref.	AZULADO		
	Tiosulfato potásico		6	Fuente	RYF.B.11			Fuente	RYF.B.11		
	Acido nítrico		0,4		Pág. 193				Pág. 193		
	Agua destilada		100								
	En frío 1h.										
RECETA	34	R-	20	Color Ref.	NEGROS			Color Ref.	NEGROS		
	Cu(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>		4,2	Fuente	CP.B.16			Fuente	CP.B.16		
	C/NH <sub>4</sub>		6,5		Pág. 68				Pág. 68		
	H <sub>2</sub> O		100								
	En Frío										
RECETA	37	R-	0	Color Ref.	AZULADO			Color Ref.	AZULADO		
	Dicromato potásico		0,5	Fuente	RYF.B.54			Fuente	RYF.B.54		
	Agua destilada		100		Pág. 228				Pág. 228		
	Caliente										
RECETA	38	R-	10	Color Ref.	NEGROS			Color Ref.	NEGROS		
	Nitrato férrico		5	Fuente	RYF.B.36			Fuente	RYF.B.36		
	Sulfuro de potasio		5		Pág. 218				Pág. 218		
	Agua		100								
	En Frío										
RECETA	39	R-	10	Color Ref.	NEGROS			Color Ref.	NEGROS		
	Nitrato férrico		5	Fuente	RYF.B.36			Fuente	RYF.B.36		
	Sulfuro de potasio		5		Pág. 218				Pág. 218		
	Agua		100								
	En Frío										
RECETA	40	R-	22	Color Ref.	NEGROS			Color Ref.	NEGROS		
	Cloruro férrico		20	Fuente	M.J.L.8			Fuente	M.J.L.8		
	Ferrocianuro potásico		3		Pág. 151				Pág. 151		
	Agua destilada		30								
	En Frío										

Tabla 61. Mediciones de color de probetas antes y después de envejecimiento (I)

		BRONCE		COBRE		
		Antes	Después	Antes	Después	
RECETA 44	Sulfuro de potasio Hidróxido de sodio Agua destilada	R- 15 1 0,25 100	Color Ref. NEGROS Fuente RYF.B.39 Pág. 221	C 84 M 81 Y 66 K 47	C 81 M 75 Y 64 K 30	C 82 M 80 Y 67 K 44
RECETA 45	Carbonato de cobre Cloruro amónico Agua destilada Vinagre	R- 17 2,4 2,4 10 0,8	Color Ref. NEGROS Fuente MLL.13 Pág. 159	C 83 M 73 Y 70 K 36	C 75 M 61 Y 68 K 15	C 68 M 52 Y 66 K 5
RECETA 46	Carbonato de cobre Cloruro amónico Ácido acético	R- 0 2,4 2,4 0,8	Color Ref. AZULADOS Fuente	C 76 M 62 Y 65 K 14	C 74 M 67 Y 68 K 11	C 80 M 61 Y 85 K 27
RECETA 52	Amoniaco Sulfuro de potasio Agua destilada	R- 42 5 1 100	Color Ref. AZULADOS Fuente MLL.14.1 Pág. 166	C 83 M 76 Y 67 K 37	C 74 M 63 Y 66 K 15	C 81 M 75 Y 67 K 35
RECETA 53	Amoniaco Carbonato de cobre Agua destilada	R- 43 75 10 15	Color Ref. AZULADOS Fuente MLL.14.2 Pág. 166	C 72 M 42 Y 39 K 0	C 73 M 48 Y 54 K 1	C 76 M 39 Y 32 K 0
RECETA 55	Nitrato de Cobre =42 Amoniaco Agua destilada	R- 31 3,5 2 100	Color Ref. AZULADOS Fuente CP.B.10 Pág. 61	C 82 M 29 Y 33 K 0	C 82 M 32 Y 49 K 0	C 70 M 28 Y 33 K 0
RECETA 57	Original Blue	R-	Color Ref. AZULADOS Fuente	C 83 M 31 Y 33 K 0	C 85 M 36 Y 52 K 0	C 59 M 38 Y 33 K 0
RECETA 60	Nitrato férrico Óxido férrico Agua destilada	R- 75 0,8 0,8 100	Color Ref. MARRONES Fuente RYF.B.16 Pág. 212	C 48 M 64 Y 49 K 1	C 44 M 83 Y 87 K 16	C 65 M 81 Y 58 K 15
RECETA 61	Sulfuro de potasio Óxido férrico Sulfuro de cobre Agua destilada	R- 50 18 24 18 100	Color Ref. ROJOS Fuente CP.B.5 Pág. 62	C 54 M 85 Y 70 K 22	C 48 M 79 Y 70 K 11	C 60 M 85 Y 70 K 30
RECETA 64	Sulfato de cobre =7 Agua destilada	R- 58 2,5 100	Color Ref. ROJOS Fuente R.H.B.33 1,3"	C 67 M 41 Y 65 K 1	C 63 M 38 Y 71 K 1	C 75 M 49 Y 63 K 4
RECETA 68	REPETIR Sulfato de cobre Acetato de cobre Ácido acético Sulfato Aluminico Potasico	R- 54 4 7 1 0,6	Color Ref. ROJOS Fuente R.H.B.32 1,5"	C 70 M 86 Y 71 K 47	C 62 M 86 Y 78 K 41	C 74 M 87 Y 70 K 53
RECETA 69	Carbonato de cobre Hidróxido sódico Agua destilada	R- 59 1,6 0,8 100 0	Color Ref. ROJOS Fuente R.H.B.28 1,72"	C 58 M 62 Y 78 K 13	C 55 M 60 Y 83 K 11	C 74 M 74 Y 65 K 26
RECETA 73	Cloruro amónico Amoniaco Vinagre En Frío Óxido férrico	R- 82 1 1 100 20	Color Ref. MARRONES! Fuente MLL.12 Pág. 145	C 82 M 88 Y 75 K 41	C 60 M 69 Y 76 K 40	C 60 M 69 Y 76 K 40
RECETA 74	Nitrato férrico Tiosulfato sódico Agua destilada	R- 83 6,5 0,8 100 0	Color Ref. MARRONES! Fuente RYF.B.13 Pág. 121	C 80 M 79 Y 68 K 42	C 72 M 76 Y 73 K 36	C 83 M 83 Y 68 K 54
RECETA 76	Nitrato de cobre Ácido acético Cloruro férrico En Frío Agua destilada	R- 85 1,7 1,7 1,7 100	Color Ref. MARRONES! Fuente CP.B.25 Pág. 89	C 66 M 64 Y 76 K 19	C 64 M 63 Y 80 K 18	C 72 M 73 Y 77 K 35
RECETA 78	Sulfuro potasio Sulfuro de cobre Óxido férrico En Frío Agua destilada	R- 87 1 1 0,25 100	Color Ref. MARRONES! Fuente RYF.B.19 Pág. 213	C 83 M 81 Y 66 K 45	C 77 M 77 Y 68 K 36	C 84 M 81 Y 66 K 46
RECETA 80	Sulfato de cobre Carbonato de cobre Acetato de cobre En Frío Agua destilada	R- 89 14,3 14,3 14,3 100	Color Ref. MARRONES! Fuente RYF.B.25 Pág. 214	C 67 M 28 Y 34 K 0	C 48 M 23 Y 30 K 0	C 60 M 31 Y 33 K 0

Tabla 62. Mediciones de color de probetas antes y después de envejecimiento (II)

				BRONCE				COBRE			
				Antes		Después		Antes		Después	
RECETA	R-	91	Color Ref. MARRONE!	C 58	C 55	C 59	C 65	M 85	M 81	M 82	M 76
			Fuente RYF.B.10 Pág.210	Y 86	Y 87	Y 90	Y 84	K 39	K 31	K 39	K 36
RECETA	R-	96	Color Ref. MARRONE!	C 83	C 74	C 90	C 73	M 54	M 46	M 76	M 45
			Fuente RYF.B.26 Pág.215	Y 59	Y 72	Y 60	Y 69	K 6	K 4	K 28	K 3
RECETA	R-	98	Color Ref. MARRONE!	C 91	C 88	C 73	C 59	M 78	M 67	M 45	M 59
			Fuente M.J.L.18 Pág.187	Y 58	Y 66	Y 47	Y 47	K 26	K 26	K 0	K 0
RECETA	R-	125	Color Ref. VERDES	C 68	C 50	C 62	C 53	M 34	M 24	M 27	M 19
			Fuente R.H.B.2 1.115**	Y 32	Y 30	Y 29	Y 27	K 0	K 0	K 0	K 0
RECETA	R-	130	Color Ref. VERDES	C 78	C 72	C 66	C 59	M 43	M 30	M 27	M 18
			Fuente RYF.B.24 Pág.214	Y 47	Y 43	Y 36	Y 33	K 0	K 0	K 0	K 0
RECETA	R-	133	Color Ref. VERDES	C 88	C 87	C 87	C 84	M 53	M 49	M 54	M 53
			Fuente RYF.B.45 Pág.224	Y 53	Y 66	Y 60	Y 64	K 3	K 7	K 7	K 8
RECETA	R-	100	Color Ref. OCRES	C 82	C 76	C 75	C 65	M 31	M 14	M 35	M 25
			Fuente R.H.B.31 1.112**	Y 45	Y 42	Y 44	Y 43	K 0	K 0	K 0	K 0
RECETA	R-	102	Color Ref. OCRES	C 60	C 54	C 69	C 61	M 65	M 59	M 61	M 53
			Fuente R.H.B.34 1.18**	Y 64	Y 70	Y 46	Y 55	K 9	K 6	K 2	K 1
RECETA	R-	106	Color Ref. OCRES	C 60	C 53	C 73	C 66	M 73	M 78	M 80	M 84
			Fuente R.H.B.21 1.77**	Y 69	Y 85	Y 60	Y 75	K 19	K 25	K 25	K 42
RECETA	R-	109	Color Ref. OCRES	C 66	C 66	C 73	C 59	M 30	M 31	M 33	M 22
			Fuente R.H.B.18 1.41**	Y 35	Y 45	Y 32	Y 35	K 0	K 0	K 0	K 0
RECETA	R-	110	Color Ref. OCRES	C 84	C 77	C 81	C 77	M 73	M 75	M 70	M 74
			Fuente R.H.B.23 1.113**	Y 43	Y 67	Y 44	Y 65	K 4	K 30	K 3	K 28
RECETA	R-	112	Color Ref. OCRES	C 71	C 63	C 79	C 77	M 78	M 76	M 78	M 74
			Fuente C.P.B.2 Pág.60	Y 69	Y 73	Y 65	Y 68	K 33	K 27	K 35	K 34
RECETA	R-	114	Color Ref. OCRES	C 72	C 63	C 79	C 70	M 79	M 77	M 78	M 78
			Fuente RYF.B.29 Pág.216	Y 67	Y 75	Y 61	Y 72	K 34	K 30	K 27	K 35
RECETA	R-	134	Color Ref. VERDES	C 75	C 68	C 79	C 76	M 22	M 16	M 39	M 24
			Fuente RYF.B.46 Pág.224	Y 33	Y 40	Y 42	Y 43	K 0	K 0	K 0	K 0
RECETA	R-	138	Color Ref. VERDES	C 69	C 66	C 85	C 72	M 19	M 18	M 46	M 20
			Fuente M.J.B.1 Pág.130	Y 33	Y 32	Y 46	Y 40	K 0	K 0	K 0	K 0

Tabla 63. Mediciones de color de probetas antes y después de envejecimiento (III)

				BRONCE				COBRE			
				Antes		Después		Antes		Después	
RECETA		R-	137	Color Ret. VERDES		Fuente RY.F.B.51 Pág.227					
103	Cloruro amónico		1								
	Nitrato de cobre		1								
	Cloruro Cálcico		1								
En Frío	Agua destilada		32								
RECETA		R-	136	Color Ret. VERDES		Fuente RY.F.B.48 Pág.225					
104	Cloruro amónico		5								
	Amoniaco		4								
	Cloruro sódico		5								
	Acido acético		4								
En Frío	Agua destilada		32								
RECETA	Solución A	R-	140	Color Ret. VERDES		Fuente M.L.B.6 Pág.136					
105	Cloruro amónico		12,5								
	Amoniaco		7,5								
	Agua destilada		50								
	Solución B		0								
	Cloruro amónico		2,5								
	Amoniaco		2,5								
En Frío	Vinagre		50								
RECETA		R-	142	Color Ret. VERDES		Fuente M.L.B.9 Pág.141					
106	Cloruro amónico		10								
	Acetato de cobre		15								
	Vinagre		0								
En Frío	Pasta		0								
RECETA		R-	144	Color Ret. VERDES		Fuente M.L.B.14 Pág.145					
107	Cloruro amónico		1								
	Nitrato de cobre		6								
	Amoniaco		12								
	Cloruro sódico		6								
En Frío	Carbonato potásico		3								
RECETA		R-	145	Color Ret. VERDES		Fuente M.L.B.16 Pág.149					
108	Amoniaco		50								
	Carbonato de cobre		6,2								
	Carbonato sódico*		3,1								
En Frío	Agua destilada		25								
RECETA		R-	150	Color Ret. VERDES		Fuente M.L.B.26 Pág.161					
111	Cloruro amónico		12								
	Oxalato potásico		4								
	Acido oxálico		1								
En Frío	Vinagre		100								
RECETA		R-	151	Color Ret. VERDES		Fuente M.L.B.27 Pág.161					
112	Cloruro amónico		7,7								
	Carbonato de cobre		3,9								
	Agua destilada		100								
En Frío			0								
RECETA		R-	156	Color Ret. VERDES		Fuente CP.B.7 Pág.63					
114	Nitrato de cobre		6								
	Agua destilada		100								
Calle			0								
			0								
RECETA		R-	158	Color Ret. VERDES		Fuente CP.B.26 Pág.89-90					
116	Cloruro amónico		6								
	Carbonato de cobre		10								
	Acetato de cobre		6								
En Frío	Vinagre		100								
RECETA		R-	159	Color Ret. VERDES		Fuente CP.B.27 Pág.90					
117	Cloruro amónico		3								
	Acetato de cobre		1,5								
	Acido nítrico		1								
En Frío	Agua destilada		100								
RECETA		R-	160	Color Ret. VERDES		Fuente CP.B.22 Pág.86					
118	Cloruro amónico		6								
	Sulfato de cobre		3								
	Cloruro de cobre		18								
En Frío	Agua destilada		100								
RECETA		R-	163	Color Ret. VERDES		Fuente RH.B.1 I.120**					
120	Nitrato de cobre		10								
	Acido nítrico		4								
	Agua destilada		100								
Calle			0								
RECETA		R-	165	Color Ret. VERDES		Fuente RH.B.6 I.126*					
121	Nitrato de cobre		3								
	Cloruro de zinc		3								
	Agua destilada		100								
En Frío			0								
RECETA		R-	169	Color Ret. VERDES		Fuente RY.F.B.31 Pág.217					
122 (A)	Nitrato de cobre		2,4								
	Agua destilada		100								
			0								
			0								
RECETA		R-	169	Color Ret. VERDES		Fuente RY.F.B.31 Pág.217					
122 (B)	Ferrocianuro potásico	Sol. Saturada	0								
			0								
Calle			0								

Tabla 64. Mediciones de color de probetas antes y después de envejecimiento (IV)

				BRONCE		COBRE	
				Antes	Después	Antes	Después
RECETA 124 (A)	Nitrato de cobre	R-	171	Color Ref. VERDES		Fuente RYF.B.41 Pág.222	
Caliente	Agua destilada		2	54	49	69	59
RECETA 124 (B)	Nitrato férrico		0,5	49	79	57	80
Caliente	Agua destilada		100	33	97	33	92
			0	0	24	0	37
RECETA 125	Nitrato de cobre	R-	172	Color Ref. VERDES		Fuente RYF.B.52 Pág.227	
Caliente	Agua destilada		8	80	80	75	89
			100	65	45	57	55
			0	37	37	50	54
			0	0	0	4	3
RECETA 126	Nitrato de cobre	R-	173	Color Ref. VERDES		Fuente CP.B.11 Pág. 65	
Caliente	Agua destilada		4	78	66	83	75
			2	77	79	79	78
			0,5	71	88	67	83
			100	40	38	44	51
RECETA 127	Nitrato de cobre	R-	174	Color Ref. VERDES		Fuente CP.B.14 Pág. 67	
Caliente	Agua destilada		5	82	83	84	84
			2	75	77	73	74
			100	58	68	55	65
			0	21	41	15	31
RECETA 128	Nitrato de cobre	R-	175	Color Ref. VERDES		Fuente CP.B.15 Pág. 67	
Caliente	Agua destilada		5	84	79	83	84
			3	89	62	72	75
			100	54	62	55	67
			0	12	13	14	36
RECETA 129	Amoniaco	R-	176	Color Ref. VERDES		Fuente RYF.B.44 Pág.224	
En Frío	Cloruro de sodio		40	78	69	76	65
	Vinagre		10	23	16	26	17
	Juza de limón		10	31	35	30	31
			0	0	0	0	0
RECETA 130	Amoniaco	R-	177	Color Ref. VERDES		Fuente RYF.B.50 Pág.226	
En Frío	Sulfuro de potasio		15	82	77	82	73
	Sulfuro de Bario		2	81	76	77	73
			7	66	67	62	57
			0	45	33	30	9
RECETA 132	Amoniaco	R-	177	Color Ref. VERDES		Fuente RYF.B.50 Pág.226	
En Frío	Sulfuro de potasio		15	80	79	80	76
	Sulfuro de Bario		2	25	16	23	15
			7	25	40	24	37
			0	0	0	0	0
RECETA 134	Amoniaco	R-	181	Color Ref. VERDES		Fuente CP.B.28 Pág. 91	
En Frío	Sulfato de cobre		5 gotas	64	56	65	62
	Carbonato de cobre		12	76	77	83	79
	Acetato de cobre		12	78	91	83	87
	Acido nítrico		2 gotas	32	30	45	37
	Agua destilada		100				
RECETA 135	Sulfato de cobre	R-	183	Color Ref. VERDES		Fuente RH.B.13 1.106*	
Ebullición	Cloruro de sodio		0,625	62	63	52	63
	Acetato de cobre		0,125	84	82	82	79
	Acido acético (8%)		100	89	95	95	85
	Acido nítrico		2 gotas	46	29	29	38
	Agua destilada		100				
RECETA 136	Cloruro férrico	R-	186	Color Ref. VERDES		Fuente CP.B.21 Pág. 85	
En Frío	Agua destilada		9,5	78	72	70	75
			100	49	38	60	53
			0	60	60	65	60
			0	3	0	10	5
RECETA 138	Cloruro de cobre	R-	193	Color Ref. VERDES		Fuente M.J.L.7 Pág. 152	
En Frío	Agua destilada		5	79	71	71	65
			100	51	37	38	28
			0	64	61	47	44
			0	6	0	0	0
RECETA 141	Ferrocianuro potásico	R-	200	Color Ref. VERDES		Fuente CP.B.18 Pág. 74	
Caliente	Agua destilada		0,8 a 1,6(1,2)	57	45	69	59
			100	80	74	86	88
			0	32	94	89	98
			0	34	12	61	45
RECETA 226	Cloruro amónico	R-	424	Color Ref. VERDE		Fuente INT.F.17 0	
Sol. Caliente	Sulfato de cobre		0,9	83	73	86	82
	Agua destilada		5,3	59	36	80	73
			100	48	43	60	60
			0	3	0	32	21
RECETA 0	Nitrato de Bismuto	R-	6	Color Ref. BLANCO		Fuente CP.B.17 Pág. 72	
Caliente	Dióxido de Stancio		5,4	64	42	68	41
	Silicio coloidal		0,8	46	26	42	22
	Agua destilada		100	32	25	29	21
			0	0	0	0	0
RECETA 245	Amoniaco (30%)	R-	460	Color Ref. GRIS		Fuente RYF. Z.2 Pág.249	
En Frío	Metilato amónico		4,5	80	78	82	80
	Agua destilada		3	83	82	83	81
			100	73	74	71	71
			0	62	56	64	51
RECETA 240	Sulfato de cobre	R-	444	Color Ref. GRIS		Fuente RYF. A.4 Pág. 66	
Ebullición	Chatarra de cinc		3	60	43	69	50
	Agua destilada		23,2	55	42	60	44
			100	46	44	44	44
			0	0	0	1	0

Tabla 65. Mediciones de color de probetas antes y después de envejecimiento (V)

### **3.7. Paleta de color**

Con la variedad de colores obtenidos sobre distintos soportes, teniendo presentes las probetas atacadas con las recetas químicas probadas, resulta fácil seleccionar entre todas ellas el color que se necesite a la hora de obtenerlo.

En la Tabla 66 se han agrupado todas las recetas utilizadas para cada metal, con los colores reales que produce la aplicación de cada una de ellas. Dicha tabla ha permitido obtener, como recogen las Figuras 172 a 177, las paletas de colores reales obtenidos en cada una de las probetas de chapa metálica de Bronce, Cobre, Latón, Zinc, Hierro y Aluminio respectivamente, clasificados por gama de color.

<b>Biancos</b>	<p>Bronce 8 452 454</p> <p>Cobre 25 125 159 450 452 454</p> <p>Latón 25 450 454</p> <p>Zinc 21 26 35 51 59 64 121 454</p> <p>Hierro 213 230 452 454</p> <p>Aluminio 8 11 13 14 21 30 31 44 71</p>
<b>Grises</b>	<p>Bronce 22 25 30 32 44 47 51 62 65 69 70 137 144 240 466</p> <p>Cobre 3 14 30 40 51 62 87 91 123 127 128 130 137 140 144 163 216 217</p> <p>Latón 1 2 8 11 13 14 18 20 31 84 91 97 136 138 219 452</p> <p>Zinc 2 4 6 9 23 24 29 36 43 49 52 63 65 68 70 71 72 82 83 86 90 91 95 96 97 102 106 109 116 127 130 131 138 215 217</p> <p>Hierro 218 219 221</p> <p>Aluminio 8 12 13 15 19 29 30 36 37 43 47 51 82 94 101 114 115 129 131 139 220 240 453</p> <p>1 2 3 6 7 9 10 12 15 16 18 19 20 22 23 24 25 26 29 33 34 35 36 37 40 41 43 48 49 50 51 52 55 58 59</p> <p>62 63 64 65 70 77 82 84 86 87 88 91 95 96 100 101 102 103 104 105 106 109 110 111 112 113 114 115 116 119 121 123 129 130 131</p> <p>132 133 134 136 138 139 140 221</p>
<b>Amarillo</b>	<p>Bronce 1 2 10 15 27 29 36 37 49 50 58 63 71 72 75 76 77 81 95 126 134 135</p> <p>Cobre 8 12 15 18 19 37 50 63 72 75 76 77 81 92 95 97 134 135 230 466*</p> <p>Latón 2 4 5 10 15 19 27 30 35 36 48 49 51 70 71 72 75 77 83 92 95 111 118 126 130 135 139 141 164 218 220 245 460</p> <p>Zinc 11 18 19 39 44 74 75 76 81 107 108 126 135 460</p> <p>Hierro 4 5 11 14 16 18 21 25 26 31 39 40 41 42 44 62 67 70 71 75 85 86 102 103 121 122 130 137 200 203 212 221 455 464 466</p> <p>Aluminio 27 67 72 74 76 81 99 120 126 127 128 135 141 142 164</p>
<b>Naranja</b>	<p>Bronce 19 60 67 98 122 141 464</p> <p>Cobre 1 2 10 11 39 41 60 71 161 162 164 215 218 219 243 459 463 464</p> <p>Latón 50 60 76 81 122 134 464</p> <p>Zinc 67 99 122 134</p> <p>Hierro 45 46 55 58 76 77 80 87 99 132 134 135 136 138 141 207 231</p> <p>Aluminio 28 60 122</p>
<b>Rojo</b>	<p>Bronce 13 14 61 66 73 93 94 99 461 465</p> <p>Cobre 4 32 47 48 58 61 66 67 93 94 98 99 139 141 465</p> <p>Latón 28 39 40 41 42 47 55 61 62 64 66 73 88 93 96 98 103 119 121 127 128 133 137 144 215 216 241 466</p> <p>Zinc 28 60 61 66 73 137</p> <p>Hierro 2 28 60 61 66 73 74 78 84 90 91 93 98 105 106 107 108 110 112 113 127 128 164 206 208 209 210 212 215 216 217 458 459 463</p> <p>Aluminio 61 66 73 75 78 85 94 98</p>
<b>Verdes</b>	<p>Bronce 9 11 20 26 34 35 41 42 45 46 52 53 57 59 64 68 80 83 84 86 87 88 89 90 91 92 96 100 101 106 107 108 109 118</p> <p>Cobre 120 121 123 125 127 128 129 131 132 136 226</p> <p>Latón 5 6 9 20 21 26 34 36 42 45 46 49 52 55 57 59 64 68 80 84 86 88 89 90 100 101 106 107 108 109 110 111 112 113</p> <p>Zinc 116 118 120 121 129 131 132 136 138 150 153 155 156 165 167 168 169 170 171 172 173 456 468</p> <p>Hierro 9 26 45 46 53 56 57 59 68 80 87 90 100 106 107 108 109 110 112 113 114 115 116 120 123 124 125 129 131 132 140 217 232</p> <p>Aluminio 5 10 12 13 14 24 25 27 30 31 33 53 69 80 89 112 120 125 132 232 450</p> <p>23 24 48 49 50 52 53 68 69 83 89 92 100 123 124 125 126 140 201 204 205 211 218 460</p> <p>53 68 69 79 80 83 92 125</p>
<b>Marrones</b>	<p>Bronce 18 23 28 39 43 48 79 97 114 115 124 133 139 140</p> <p>Cobre 27 28 29 43 44 65 82 114 115 119 122 124 126 133 152 166 221 240</p> <p>Latón 3 17 22 24 29 43 52 63 65 67 68 79 99</p> <p>Zinc 38 78 79 92 141 164 139 245</p> <p>Hierro 1 3 6 7 9 27 35 38 63 72 81 95 104 118 119 120 207 227</p> <p>Aluminio 242 464</p>
<b>Azules</b>	<p>Bronce 12 40 54 56 85 102 103 104 105 110 111 112 113 116 117 145 232 241</p> <p>Cobre 17 32 38 53 54 56 83 85 96 102 103 104 105 117 145 151 154 174 220 226 467 467b</p> <p>Latón 12 16 34 54 85 86 89 101 102 104 117 145 221 226</p> <p>Zinc 1 34 37 42 48 54 55 58 77 84 93 94 98 103 104 110 111 114 115 119 129 136 140 216 220 241 246 466</p> <p>Hierro 65 86 97 116 117 119 143 223 225 226 241 245 451 467b</p> <p>Aluminio 42 107 108 118 244 241 243 452</p>
<b>Violetas</b>	<p>Bronce 21 31 82 232</p> <p>Cobre 7 13 70 453</p> <p>Latón 32 37 44 74</p> <p>Zinc 32 40 45 46 47 62 85 87 88 113 128 133</p> <p>Hierro 20 34 58 59 64 96</p> <p>Aluminio 38 46 54 89 90 117 240 460</p>
<b>Negros</b>	<p>Bronce 3 6 16 17 24 33 38 74 78 119 130 221 245 460</p> <p>Cobre 16 22 23 24 31 32 33 69 74 78 79 157 158 160 241 145 460</p> <p>Latón 23 33 38 58 69 78 82 94 115 240</p> <p>Zinc 3 7 8 15 16 17 20 22 41 50 100 105 117 118 123 124 226 240</p> <p>Hierro 10 17 22 32 33 54 79 109 111 133 142 202 224 228 229 246</p> <p>Aluminio 17 39 47 93 97 137 142</p>

Tabla 66. Identificación de las recetas utilizadas por metal y color

BLANCO	GRIS	AMARILLO/OCRE		NARANJA	ROJO	VERDE			MARRON	AZUL		VIOLETA	NEGRO
B8	B22	B1	B2	B19	B13	B9	B11	B20	B18	B12	B40	B21	B3
B452	B25	B10	B15	B60	B14	B26	B34	B35	B23	B54	B56	B31	B6
B454	B30	B29	B27	B67	B61	B41	B42	B45	B28	B85	B102	B82	B16
	B32	B36	B37	B98	B66	B46	B52	B53	B39	B103	B104	B232	B17
	B44	B49	B50	B122	B73	B57	B59	B64	B43	B105	B110		B24
	B47	B58	B63	B141	B93	B68	B60	B83	B48	B111	B112		B33
	B51	B71	B72	B464	B94	B84	B86	B87	B79	B113	B116		B38
	B62	B75	B76		B99	B88	B89	B90	B97	B117	B145		B74
	B65	B77	B81		B461	B91	B92	B96	B114	B232	B241		B78
	B69	B95	B126		B465	B100	B101	B106	B115				B119
	B70	B134	B135			B107	B108	B109	B124				B130
	B137					B116	B120	B121	B133				B221
	B144					B123	B125	B127	B139				B245
	B240					B128	B129	B131	B140				B460
	B466					B132	B136	B138					
						B226							

Figura 172. Paleta de colores sobre probetas de BRONCE

BLANCO	GRIS	AMARILLO/OCRE		NARANJA	ROJO	VERDE			MARRON	AZUL		VIOLETA	NEGRO
C25b	C3	C8	C12	C1	C4	C5	C6	C9	C27	C17	C32	C7	C16
C125	C14	C15	C18	C2	C32	C20	C21	C26	C28	C38	C53	C13	C22
C159	C30	C19	C37	C10	C47	C34	C36	C42	C29	C54	C56	C70	C23
C450	C40	C50	C63	C11	C48	C45	C46	C49	C43	C83	C85	C453	C24
C452	C51	C72	C75	C39	C58	C62	C65	C67	C44	C96	C102		C31
C454	C62	C76	C77	C41	C61	C59	C64	C68	C65	C103	C104		C32
	C87	C81	C92	C60	C66	C80	C84	C86	C82	C105	C117		C33
	C91	C95	C97	C71	C67	C88	C89	C90	C114	C145	C151		C69
	C123	C134	C135	C161	C93	C100	C101	C106	C115	C154	C174		C74
	C127	C230	C466*	C162	C94	C107	C108	C109	C119	C220	C226		C78
	C128			C164	C98	C110	C111	C112	C122	C467	C467b		C79
	C130			C215	C99	C113	C116	C118	C124				C157
	C137			C218	C139	C120	C121	C129	C126				C158
	C140			C219	C141	C131	C132	C136	C133				C160
	C144			C243	C465	C138	C459	C153	C152				C241
	C163			C459		C155	C156	C165	C166				C245
	C216			C463		C167	C169	C189	C221				C460
	C217			C464		C170	C171	C172	C240				
						C173	C456	C466					

Figura 173. Paleta de colores sobre probetas de COBRE

BLANCO	GRIS	AMARILLO/OCRE	NARANJA	ROJO	VERDE	MARRON	AZUL	VIOLETA	NEGRO
L25	L1	L2 L72	L50	L28 L39	L9 L26 L45	L3	L12 L16	L32	L23
L450	L8	L4 L5	L60	L40 L41	L46 L53 L56	L17	L34 L54	L37	L33
L454	L11	L10 L15	L76	L42 L43	L57 L59 L68	L22	L65 L86	L44	L38
	L13	L19 L27	L81	L55 L61	L80 L87 L90	L24	L89 L101	L74	L58
	L14	L30 L35	L122	L62 L64	L100 L105 L106	L29	L102 L104		L69
	L18	L36 L48	L134	L66 L73	L107 L108 L109	L43	L117 L145		L78
	L20	L49 L51	L464	L88 L93	L110 L112 L113	L52	L221 L226		L82
	L31	L70 L71		L96 L98	L114 L115 L116	L63			L94
	L84	L72 L75		L103 L119	L120 L123 L125	L65			L115
	L91	L77 L83		L121 L127	L129 L131 L132	L67			L240
	L97	L92 L95		L128 L133	L140 L217 L232	L79			
	L136	L111 L118		L137 L144		L99			
	L138	L126 L130		L215 L216		L124			
	L219	L135 L139		L241 L466					
	L452	L141 L164							
		L218 L220							
		L245 L460							

Figura 174. Paleta de colores sobre probetas de LATON

BLANCO	GRIS	AMARILLO/OCRE	NARANJA	ROJO	VERDE	MARRON	AZUL	VIOLETA	NEGRO
Z21	Z2, Z4	Z11, Z18	Z67	Z28, Z60	Z5, Z10, Z12	Z38	Z1, Z34	Z32	Z3
Z26	Z6, Z7	Z19, Z39	Z99	Z61, Z66	Z13, Z14, Z24	Z78	Z37, Z42	Z40	Z7
Z35	Z23, Z24	Z44, Z74	Z122	Z73, Z137	Z25, Z27, Z30	Z79	Z48, Z54	Z45	Z8
Z35	Z29, Z36	Z75, Z76	Z134		Z31, Z33, Z53	Z92	Z55, Z58	Z46	Z15
Z69	Z43, Z49	Z81, Z107			Z69, Z80, Z89	Z141	Z77, Z84	Z47	Z16
Z64	Z52, Z63	Z108, Z126			Z112, Z120, Z125	Z184	Z93, Z94	Z62	Z17
Z121	Z65, Z68	Z135, Z460			Z132, Z32, Z450	Z139	Z98, Z103	Z85	Z20
Z484	Z70, Z71					Z245	Z104, Z110	Z87	Z22
	Z72, Z82						Z111, Z114	Z88	Z41
	Z83, Z86						Z115, Z119	Z113	Z50
	Z90, Z91						Z129, Z136	Z128	Z100
	Z95, Z96						Z140, Z216	Z133	Z105
	Z97, Z101						Z220, Z241		Z117
	Z102, Z106						Z246, Z468		Z118
	Z109, Z116								Z123
	Z127, Z130								Z124
	Z131, Z138								Z226
	Z215, Z217								Z240
	Z218, Z219								
	Z221								

Figura 175. Paleta de colores sobre probetas de ZINC

BLANCO	GRIS		AMARILLO/OCRE		NARANJA	ROJO		VERDE			MARRON	AZUL		VIOLETA	NEGRO
H213	H8	H12	H4	H5	H45	H2	H28	H23	H24	H48	H1	H65	H86	H20	H10
H230	H13	H15	H11	H14	H46	H60	H61	H49	H50	H52	H3	H97	H116	H34	H17
H452	H19	H29	H16	H18	H55	H66	H73	H53	H58	H59	H6	H117	H119	H58	H22
H454	H30	H36	H21	H25	H58	H74	H78	H83	H89	H92	H7	H143	H223	H59	H32
	H37	H43	H26	H31	H76	H84	H90	H100	H123	H124	H9	H225	H226	H64	H33
	H47	H51	H39	H40	H77	H81	H93	H125	H126	H140	H27	H241	H245	H96	H54
	H82	H94	H41	H42	H80	H98	H105	H201	H204	H205	H35	H451	H467b		H79
	H101	H114	H44	H62	H87	H106	H107	H211	H218	H460	H38				H109
	H115	H129	H67	H70	H99	H108	H110				H63				H111
	H131	H139	H71	H75	H132	H112	H113				H72				H133
	H220	H240	H85	H88	H134	H127	H128				H81				H142
	H453		H102	H103	H135	H164	H206				H95				H202
			H121	H122	H136	H208	H209				H104				H222
			H130	H137	H138	H210	H212				H118				H224
			H200	H203	H141	H215	H216				H219				H228
			H221	H455	H207	H217	H458				H120				H229
			H464	H466	H231	H459	H463				H207				H246
											H227				

Figura 176. Paleta de colores sobre probetas de HIERRO

BLANCO	GRIS				AMARILLO/OCRE	NARANJA	ROJO		VERDE			MARRON	AZUL	VIOLETA	NEGRO		
A8	A1	A32	A58	A59	A27	A72	A28	A61	A66	A69	A79	A53	A242	A42	A108	A38	A17
A11	A2	A36	A55	A109	A87	A76	A60	A73	A75	A80	A68	A125	A494	A107	A118	A18	A39
A13	A3	A29	A109	A101	A81	A74	A122	A85	A78	A83	A92			A452	A241	A54	A47
A14	A6	A33	A62	A103	A99	A129		A94	A98					A244	A243	A89	A93
	A7	A34	A10	A105	A129	A128										A50	A87
A21	A9	A35	A27	A40	A135	A127										A117	A137
A30	A10	A37	A87	A102	A141	A164										A240	A142
A31	A12	A111	A84	A104												A460	
A43	A15	A41	A86	A106													
A71	A16	A114	A88	A110													
	A18	A43	A91	A112													
	A19	A49	A95	A115													
	A20	A48	A96	A116													
	A22	A51	A119	A121													
	A23	A50	A113	A82													
	A24	A52	A129	A123													
	A25	A63	A130	A124													
	A26	A64	A132	A131													
A136	A65	A133	A134														
A140	A139	A138	A221														

Figura 177. Paleta de colores sobre probetas de ALUMINIO

No obstante las paletas completas anteriores, se ha hecho una selección para simplificar la elección de una determinada receta/color/metal. La Tabla 67 recoge una paleta de color más reducida, pero más simple de aplicar por haber renunciado, en buena medida, a aplicaciones en caliente. La Figura 178 corresponde al resultado de su aplicación.

		BRONCE	COBRE	LATON	ZINC	HIERRO	ALUMINIO
BLANCO	Oscuro				108		
	Medio				450		130
	Claro	454			454		
GRIS	Oscuro		450	545	37 44 241	201	99
	Medio	15	15 454	450	48 136 267	63 130	60 91 97
	Claro					452	51 64
NEGRO	Oscuro				22 500	32	
	Medio	22 39	220	30	11 32 42	64	
	Claro						
AZUL	Oscuro		108				
	Medio	151	168	108	13		
	Claro		151		59		
VIOLETA	Oscuro					38	
	Medio		48		53		70
	Claro				122		
MARRON	Oscuro					98	
	Medio	70	24			80 97	
	Claro	282					
NARANJA	Oscuro			60		102 458	
	Medio		134	76 134		59 87 132 500	
	Claro			137		24	
ROJO	Oscuro				60 66 211	34 66	
	Medio	460	28 162 230	28 66 73	28 61 73	28 60 61	28 66 73
	Claro		161			73	
OCRE	Oscuro					50	
	Medio	164	40 50 466	40 50		104	
	Claro					31	81 98
VERDE	Oscuro	120 232 500	42 169	41 90	45	232	46
	Medio	35 100 120	111 241 456	55 90 100 103 132	125 246		80
	Claro	34 52 58 107 111	150 155	53	5		108
AMARILLO	Oscuro			230			
	Medio		464	74		58	
	Claro	464		38		11 45	

Tabla 67. Selección de recetas para una paleta de color para distintos soportes

	BRONCE	COBRE	LATON	ZNC	HERRO	ALUMNIO
BLANCO	454			108 450 454		139
GRIS	15	15 450 454	450 454	37 44 48 138 241 287	63 130 201	51 60 64 81 97 99
NEGRO	22 39	220	39	11 22 32 42 500	32 64	
AZUL	151	108 151 168	108	13 59		
MARRON	76 282	24			80 97 88	
NARANJA		134	60 76 134 137	75	24 59 87 102 132 458 500	
ROJO	460	28 161 162 230	28 66 73	28 60 61 66 73 211	28 34 60 61 66 73	28 66 73
OCRE	164	40 50 468	40 50		31 50 104	81 98
VERDE	34 35 52 59 100 107 111 120 232 500	42 111 150 155 169 241 456	41 53 55 90 100 103 132 241	5 45 125 246	232	46 80 108
AMARELLO	464	464	74 230 38		11 45 88	
VIOLETA		48		122 53	38	78

Figura 178. Paleta de color obtenida con las recetas seleccionadas aplicadas a probetas de madera con cargas de metal

En todo caso, se incluye en el **epígrafe 6** de la Tabla de Contenido, todas las recetas utilizadas junto con los colores que resultan de su aplicación al conjunto de probetas, incluyéndose como último apartado (**epígrafe 10**) los principales proveedores de material y de productos químicos utilizados durante el desarrollo de los trabajos.

## 4. INVESTIGACION APLICADA: COLORACION DE SOPORTES

En este epígrafe se recogen los trabajos realizados sobre la preparación de soportes a ser utilizados posteriormente (**epígrafe 5**) para realización de obra plástica, dibujo, pintura y escultura, como ejercicios prácticos de aplicación de los distintos procedimientos para colorear metales sobre los que se ha centrado esta tesis doctoral.

### 4.1. Tipos de soportes

Se hace referencia a la clasificación recogida por Huertas<sup>300</sup> que clasifica los soportes, refiriéndose fundamentalmente a Pintura, en: Fijos, Móviles, Rígidos, Flexibles, Láminas, Naturales, Sintéticos y Artificiales dando detalle de cada uno de ellos y estableciendo los requisitos que deben cumplir para fines artístico del siguiente modo:

*“[...] estabilidad dimensional, buenas propiedades mecánicas, ligereza, espesor reducido, resistencia a los disolventes y al agua, resistencia a los agentes biológicos, resistencia a los agentes atmosféricos, fácil fabricación y coste razonable, buen aspecto estético, buena absorción, baja toxicidad de los componentes y reversibilidad.”*

Rodríguez<sup>301</sup> resume los elementos constitutivos de una pintura [aplicable también a la escultura] en términos de:

*“a) ELEMENTO SUSTENTADOR (soporte); b) ELEMENTO SUSTENTADO (preparación y estratos de color); c) ELEMENTO DE PROTECCION (barniz).” E incluye como figura 2 bajo el título “Estructura de las pinturas e incidencias de las distintas radiaciones en el examen de las mismas”. Véase Figura 179.*

En escultura, el soporte lo constituye la armadura en obras de cierto tamaño o el propio material [por ejemplo, la arcilla] en menores formatos; el elemento sustentado es la propia arcilla o el material con el que se modela la obra [plastelina, escayola, resina, etc.], que con frecuencia es sustituido posteriormente por otros materiales más permanentes [bronce fundido, resina, piedra natural o artificial, etc.] a través del proceso de vaciado, realización de moldes rígidos o flexibles, sacado de puntos para piedras, etc., así como su pátina; y el elemento de protección es cualquiera de los agentes protectores ya citados en el apartado 3.5 [Tratamientos de pasivación].

En la práctica, casi cualquier tipo de soporte puede ser utilizado para generar color in situ, requiriendo una adecuada preparación.

---

<sup>300</sup> Huertas Torrejón, M. *Materiales, Procedimientos y Técnicas Pictóricas I*. Capítulo 1. Ediciones AKAL: Madrid, 2010. Pp.15-146. ISBN: 978-84-460-1862-9.

<sup>301</sup> Rodríguez Sanho, I. *Nuevos soportes rígidos con fines artísticos*. Tesis Doctoral Departamento de Pintura, Facultad de Bellas Artes. UCM. 2001. Pp. 22-25. ISBN: 978-84-8466-180-1.

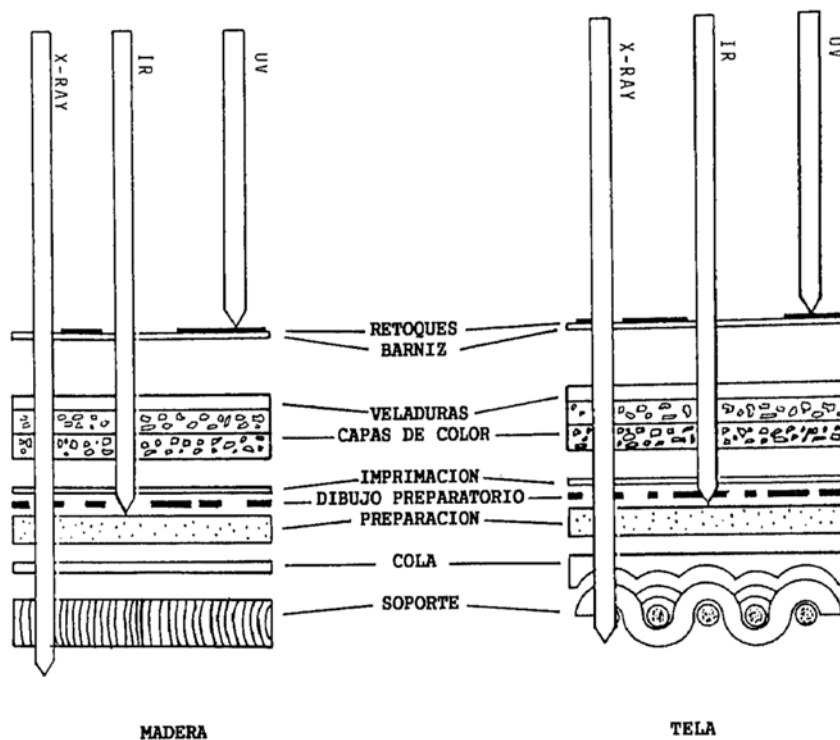


Figura 179. Estructura de las pinturas e incidencias de las distintas radiaciones en su examen

## 4.2. Preparación de soportes

Se han preparado básicamente cuatro tipos de soportes en este trabajo de investigación aplicada:

### 4.2.1. Soportes de metal

Todos los metales son susceptibles de ser atacado con recetas químicas. Basta preparar su superficie para dejarla exenta de todo tipo de pintura, grasa o defectos superficiales que no interese mantener en la obra a realizar. La superficie debe ser tratada para eliminar cualquier tipo de corrosión con objeto de dejar el metal a la vista y así poder darle pátina para generar color. Huertas<sup>302</sup> describe los procedimientos a seguir, siendo importante proceder a su lijado y decapado con solución de ácido fuerte diluido, tal y como se ha descrito anteriormente a la hora de prepara las probetas en el **epígrafe 3** de la Tabla de Contenido.

La Figura 180 muestra un soporte de chapa de hierro (acero al carbono) a la que se ha aplicado un recubrimiento de cobre por reacción de sustitución con sulfato de cobre, acelerando el proceso, en primer lugar, con célula electrolítica

<sup>302</sup> Huertas Torrejón, M. *Materiales, Procedimientos y Técnicas Pictóricas I*. Ediciones AKAL: Madrid, 2010. Pp.76. ISBN: 978-84-460-1862-9.

[Figura 180.a] y posteriormente con pincel electroquímico de esponja. [Figura 180.b].

La mancha que aparece en el centro se debe a que el ánodo [pinza de cocodrilo roja] está sumergido en forma de varilla de cobre en la parte derecha del electrolito, mientras que el cátodo es la propia placa de hierro a la que se ha mordido en su parte central izquierda [pinza de cocodrilo negra]. En la Figura 180.b se está tratando de aumentar la cantidad de cobre depositado sobre la chapa de hierro de modo manual utilizando el pincel electrolítico de esponja, ya que la disposición lineal del ánodo y global del cátodo no produce un flujo de corriente uniforme sobre la placa, habiéndose depositado cobre de modo no uniforme.

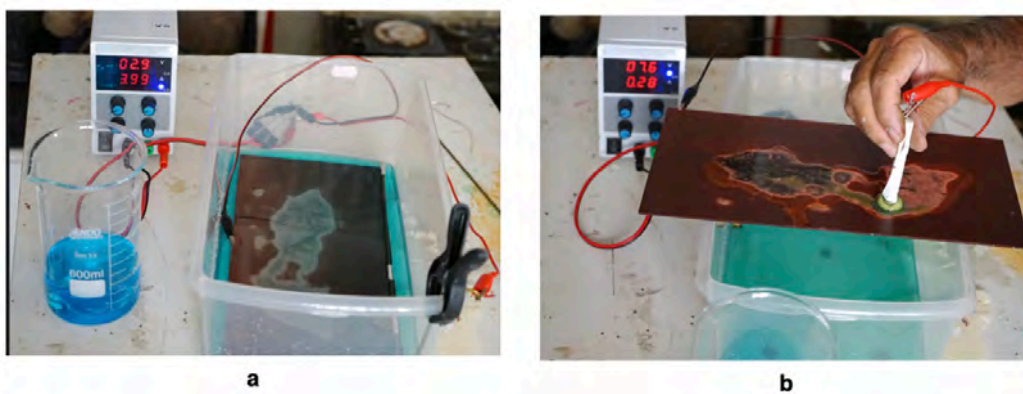


Figura 180. Soporte de acero con recubrimiento de cobre

#### 4.2.2. Soportes de madera

Cualquier tipo de madera puede ser utilizada siempre que se le aplique un aparejo tradicional y encima del mismo dar una carga de polvo del metal que se elija. Este tipo de carga puede llevarse a cabo con distintos procedimientos:

1. Mezcla de gesso o resina (alquílica, alquídica, poliéster o cualquier otra) con polvo de metal.

Es recomendable dar una mano previa de gesso por ambas caras del soporte a preparar, como ya se recogió en la introducción del **epígrafe 3** de la Tabla de Contenido (Figura 84). Esta mano de gesso por ambas caras tiene dos razones: 1ª, igualar tensiones en una y otra cara para evitar alabeos de la madera y 2ª, impermeabilizar la superficie de la madera frente al agua y ácidos que se empleen para el decapado químico y el lavado, en su caso, de los productos de reacción de las recetas.

En algunas probetas se han aplicado recetas tradicionales diseñadas para ser aplicadas en ebullición hasta de 30 minutos de duración, sin que se hayan percibido problemas de craquelados en la capa de gesso. No obstante, las recetas que requieren un empleo prolongado en ebullición,

aunque se probaron al inicio de los trabajos, se abandonaron posteriormente porque no se considera que sea compatible con el objetivo de esta tesis, enfocada hacia obras pictórica y escultóricas cuyos formatos exceden normalmente las condiciones que requeriría poner en ebullición una de las caras de una tela, tablero de madera o escultura. Las recetas japonesas que recurren a la ebullición, y también algunas otras, están más dirigidas a pequeños formatos (medallas, por ejemplo).

Tras el secado del gesso, se prepara la mezcla de gesso o resina aglomerante con la carga de polvo del metal que se planifique atacar químicamente, aplicándose la mezcla con rodillo, paletina y/o espátula, según la densidad de la carga, hasta conseguir una superficie preferiblemente lisa. Se deja pasar el tiempo necesario para su secado y endurecido<sup>303</sup>. Cuanto mayor carga de polvo de metal, en principio mejor, pudiéndose establecer una relación máxima polvo de metal/ aglomerante de 8 a 1.

Para hacer posible la reacción metal-receta, es imprescindible aflorar a la superficie del soporte (las probetas) las partículas metálicas, que se encuentran cubiertas por gesso o resina, por lo que es necesario proceder a un lijado suave o severo de la capa superficial del aglutinante (gesso o resina) hasta que aflore el metal. Este es el motivo por el que la superficie de partida conviene que sea lo más plana posible, salvo que se disponga de medios específicos para realizar esta operación de lijado como es, por ejemplo, chorro de arena. En todo caso, sobre este procedimiento se ha concluido que es poco recomendable al existir alternativas más eficaces como posteriormente se recogen.

Aflorado el metal, se procede a decapar la superficie de modo similar a como se ha expuesto al hablar de las probetas metálicas.

2. Mezcla de resina (poliéster, alquídica, alquídica, epoxi o cualquier otra), con polvo de metal, aplicando la mezcla con uno de los dos procedimientos siguientes:

- 2.1. Como en el apartado 1 anterior.

- 2.2. Dando un recubrimiento solo con gesso o resina directamente sobre la madera con el aparejo tradicional, agregando polvo de metal por

---

<sup>303</sup> Las resinas requieren de la adición de un catalizador, y según el tipo, también de un endurecedor, para provocar su polimerización, salvo el gesso y las resinas alquídica o alquídica. Debe tenerse en cuenta que la carga metálica debe estar comprendida en la proporción mínima resina/polvo de metal de 1:3, y que cuanto menor sea la granulometría del polvo, mejor funciona el procedimiento. Con resina de poliéster, la cantidad de catalizador a añadir a la mezcla con carga de metal debe aumentarse el porcentaje recomendado por el fabricante al menos un 50%, siendo muy importante pesar con suficiente precisión los componentes, particularmente de catalizador, que siempre debe calcularse la cantidad a emplear en base al peso de resina utilizada para obtener los gramos necesarios. En caso de tratarse de cantidades pequeñas, puede convertirse el peso de catalizador en número de gotas, multiplicando el peso de catalizador por 30. (1 cc. = 1 gr. = 30 gotas).

espolvoreado sobre la resina húmeda, presionando levemente con una superficie plana para asegurar que el polvo penetre en la resina. De este modo se garantiza que las partículas de polvo afloren de la resina, pero quedando suficientemente adheridas al soporte/ aparejo. Figura 181.

Las Tablas 68 a 77 recogen los resultados cuantitativos de las cargas de polvos metálicos sobre imprimación húmeda de gesso con los procedimientos 2.1 y 2.2 anteriores, que conducen a las siguientes cargas medias por metal:

Procedimiento	En masa	Por espolvoreo
Bronce	386 g./m <sup>2</sup> .	520 g./m <sup>2</sup>
Cobre	648 g./m <sup>2</sup> .	650 g./m <sup>2</sup>
Latón	636 g./m <sup>2</sup> .	695 g./m <sup>2</sup>
Zinc	350 g./m <sup>2</sup> .	263 g./m <sup>2</sup>
Hierro	-	297 g./m <sup>2</sup>
Estaño.	245 g./m <sup>2</sup> .	-
Grafito.	158 g./m <sup>2</sup> .	-

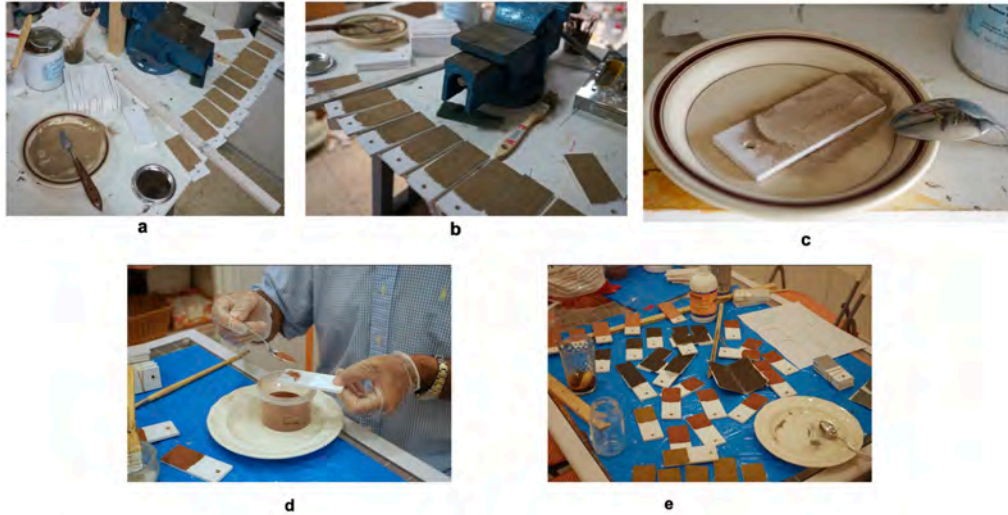


Figura 181. Probetas de madera con recubrimiento de gesso y cargas de polvo metálico

3. Utilizando **pinturas comerciales** que son una suspensión de polvo de metal en resina con base acuosa, y secado al aire, o cualquier otro tipo de resina que en general requiere al menos empleo de catalizador, cuando no endurecedor y catalizador. Figura 182. La pintura comercial simplifica el procedimiento, pero las pruebas que se han realizado no aportan suficiente garantía de funcionamiento, por lo que deben hacerse pruebas previas antes de emprender un proyecto concreto.



Figura 182. Probetas de madera con gesso y pintura comercial de cobre

<b>BRONCE</b>	<b>Aplicación en masa</b>				
<b>NUMERO ID</b>	<b>PESO PROBETA, g.</b>			<b>Carga metal, g.</b>	<b>Carga metal g./m2</b>
	<b>Imprimada</b>	<b>con carga</b>	<b>carga</b>		
<b>Bp1</b>	10,5	11,7	1,2	0,72	360
<b>Bp2</b>	10,7	12,0	1,3	0,78	390
<b>Bp3</b>	10,9	12,1	1,2	0,72	360
<b>Bp4</b>	12,4	13,5	1,1	0,66	330
<b>Bp5</b>	10,3	11,4	1,1	0,66	330
<b>Bp6</b>	11,0	12,0	1,0	0,6	300
<b>Bp7</b>	10,5	11,9	1,4	0,84	420
<b>Bp8</b>	11,6	11,9	0,3	0,18	90
<b>Bp9</b>	11,1	12,2	1,1	0,66	330
<b>Bp10</b>	10,4	11,9	1,5	0,9	450
<b>Bp11</b>	10,6	11,7	1,1	0,66	330
<b>Bp12</b>	10,4	12,1	1,7	1,02	510
<b>Bp13</b>	10,3	12,3	2,0	1,2	600
<b>Bp14</b>	9,8	11,6	1,8	1,08	540
<b>Bp15</b>	10,9	12,4	1,5	0,9	450
<b>Promedio</b>	<b>10,8</b>	<b>12,0</b>	<b>1,3</b>	<b>0,8</b>	<b>386,0</b>
<b>NOTA</b>					
Composición de la carga: P. de metal 15 g.					
Gesso 10 g.					
La menor granulometría del polvo de metal hace más fluida la mezcla con el gesso, obteniéndose una capa más delgada de la carga					

Tabla 68. Carga promedio en probetas de madera con aplicación en masa de bronce

<b>COBRE</b>		<b>Aplicación en masa</b>			
<b>NUMERO ID</b>	<b>PESO PROBETA, g.</b>			<b>Carga metal, g.</b>	<b>Carga metal g./m2</b>
	<b>Imprimada</b>	<b>con carga</b>	<b>carga</b>		
<b>Cp1</b>	10,9	13,2	2,3	1,38	690
<b>Cp2</b>	11,0	12,7	1,7	1,02	510
<b>Cp3</b>	10,9	13,2	2,3	1,38	690
<b>Cp4</b>	10,0	12,0	2,0	1,2	600
<b>Cp5</b>	10,5	12,5	2,0	1,2	600
<b>Cp6</b>	9,9	11,9	2,0	1,2	600
<b>Cp7</b>	10,9	12,9	2,0	1,2	600
<b>Cp8</b>	10,7	12,9	2,2	1,32	660
<b>Cp9</b>	10,7	13,6	2,9	1,74	870
<b>Cp10</b>	10,5	12,7	2,2	1,32	660
<b>Promedio</b>	<b>10,6</b>	<b>12,8</b>	<b>2,2</b>	<b>1,3</b>	<b>648,0</b>
<b>NOTA</b>					
Composición de la carga: P. de metal 15 g. Gesso 10 g.					
Estas probetas requerirán su lijado para descubrir el polvo de metal					

Tabla 69. Carga promedio en probetas de madera con aplicación en masa de cobre

<b>LATON</b>	<b>Aplicación en masa</b>				
<b>NUMERO</b>	<b>PESO PROBETA, g.</b>			<b>Carga</b>	<b>Carga metal</b>
<b>ID</b>	<b>Imprimada</b>	<b>con carga</b>	<b>carga</b>	<b>metal, g.</b>	<b>g./m2</b>
<b>Lp1</b>	10,3	13,2	2,9	1,74	870
<b>Lp2</b>	10,4	12,4	2,0	1,2	600
<b>Lp3</b>	10,7	12,7	2,0	1,2	600
<b>Lp4</b>	10,7	12,9	2,2	1,32	660
<b>Lp5</b>	10,3	12,5	2,2	1,32	660
<b>Lp6</b>	11,3	13,4	2,1	1,26	630
<b>Lp7</b>	10,7	12,1	1,4	0,84	420
<b>Lp8</b>	10,3	12,0	1,7	1,02	510
<b>Lp9</b>	10,6	12,9	2,3	1,38	690
<b>Lp10</b>	10,5	12,9	2,4	1,44	720
<b>Promedio</b>	<b>10,6</b>	<b>12,7</b>	<b>2,1</b>	<b>1,3</b>	<b>636,0</b>
<b>NOTA</b>					
Composición de la carga:				P. de metal	15 g.
				Gesso	10 g.

Tabla 70. Carga promedio en probetas de madera con aplicación en masa de latón

<b>ZINC</b>		<b>Aplicación en masa</b>			
<b>NUMERO ID</b>	<b>PESO PROBETA, g.</b>			<b>Carga metal, g.</b>	<b>Carga metal g./m2</b>
	<b>Imprimada</b>	<b>con carga</b>	<b>carga</b>		
<b>Zp1</b>	11,3	12,6	1,3	0,78	390,0
<b>Zp2</b>	11,0	11,9	0,9	0,54	270,0
<b>Zp3</b>	11,0	11,8	0,8	0,48	240,0
<b>Zp4</b>	11,1	12,4	1,3	0,78	390,0
<b>Zp5</b>	10,8	12,0	1,2	0,72	360,0
<b>Zp6</b>	10,5	11,5	1,0	0,60	300,0
<b>Zp7</b>	10,5	11,6	1,1	0,66	330,0
<b>Zp8</b>	11,1	12,2	1,1	0,66	330,0
<b>Zp9</b>	10,6	12,1	1,5	0,90	450,0
<b>Zp10</b>	11,1	12,2	1,1	0,66	330,0
<b>Zp11</b>	10,0	11,3	1,3	0,78	390,0
<b>Zp12</b>	12,1	13,1	1,0	0,60	300,0
<b>Zp13</b>	11,2	12,5	1,3	0,78	390,0
<b>Zp14</b>	11,0	12,0	1,0	0,60	300,0
<b>Zp15</b>	11,3	12,5	1,2	0,72	360,0
<b>Zp16</b>	10,9	12,1	1,2	0,72	360,0
<b>Zp17</b>	10,8	12,2	1,4	0,84	420,0
<b>Zp18</b>	10,6	11,9	1,3	0,78	390,0
<b>Promedio</b>	<b>10,9</b>	<b>12,1</b>	<b>1,2</b>	<b>0,7</b>	<b>350,0</b>
<b>NOTA</b>					
Composición de la carga: P. de metal 15 g. Gesso 10 g.					
La menor granulometría del polvo de metal hace más fluida la mezcla con el gesso, obteniéndose una capa más delgada de la carga					

Tabla 71. Carga promedia en probetas de madera con aplicación en masa de zinc

<b>ESTAÑO</b>	<b>Aplicación en masa</b>				
<b>NUMERO</b>	<b>PESO PROBETA, g.</b>			<b>Carga</b>	<b>Carga metal</b>
<b>ID</b>	<b>Imprimada</b>	<b>con carga</b>	<b>carga</b>	<b>metal, g.</b>	<b>g./m2</b>
<b>Ep1</b>	11,6	12,2	0,6	0,36	179,6
<b>Ep2</b>	10,8	11,5	0,7	0,42	209,6
<b>Ep3</b>	11,3	12,0	0,7	0,42	209,6
<b>Ep4</b>	10,2	11,2	1,0	0,60	299,4
<b>Ep5</b>	11,3	12,0	0,7	0,42	209,6
<b>Ep6</b>	11,6	12,3	0,7	0,42	209,6
<b>Ep7</b>	11,3	11,9	0,6	0,36	179,6
<b>Ep8</b>	11,1	11,7	0,6	0,36	179,6
<b>Ep9</b>	10,3	11,3	1,0	0,60	299,4
<b>Ep10</b>	10,7	11,5	0,8	0,48	239,5
<b>Ep11</b>	11,3	12,6	1,3	0,78	389,2
<b>Ep12</b>	10,7	11,5	0,8	0,48	239,5
<b>Ep13</b>	11,2	12,2	1,0	0,60	299,4
<b>Ep14</b>	11,5	12,1	0,6	0,36	179,6
<b>Ep15</b>	10,7	11,9	1,2	0,72	359,3
<b>Promedio</b>	<b>11,0</b>	<b>11,9</b>	<b>0,8</b>	<b>0,5</b>	<b>245,5</b>
<b>NOTA</b>					
Composición de la carga: P. de metal 10 g. Gesso 6,7 g.					
La menor granulometría del polvo de metal hace más fluida la mezcla con el gesso, obteniéndose una capa más delgada de la carga					

Tabla 72. Carga promedio en probetas de madera con aplicación en masa de estaño

GRAFITO	Aplicación en masa				
NUMERO ID	PESO PROBETA, g.			Carga metal, g.	Carga metal g./m2
	Imprimada	con carga	carga		
Gp1	10,0	10,9	0,9	0,27	135,1
Gp2	10,5	11,5	1,0	0,30	150,2
Gp3	10,2	11,8	1,6	0,48	240,2
Gp4	10,6	11,7	1,1	0,33	165,2
Gp5	10,6	11,4	0,8	0,24	120,1
Gp6	11,3	12,1	0,8	0,24	120,1
Gp7	10,7	11,7	1,0	0,30	150,2
Gp8	10,6	11,4	0,8	0,24	120,1
Gp9	11,7	12,9	1,2	0,36	180,2
Gp10	11,4	12,5	1,1	0,33	165,2
Gp11	10,4	11,6	1,2	0,36	180,2
Gp12	10,2	11,4	1,2	0,36	180,2
Gp13	10,3	11,3	1,0	0,30	150,2
Gp14	10,3	11,3	1,0	0,30	150,2
Gp15	10,3	11,3	1,0	0,30	150,2
Gp16	10,7	11,9	1,2	0,36	180,2
Gp17	10,4	11,5	1,1	0,33	165,2
Gp18	10,5	11,7	1,2	0,36	180,2
Gp19	10,5	11,6	1,1	0,33	165,2
Gp20	11,3	12,5	1,2	0,36	180,2
Gp21	10,3	11,4	1,1	0,33	165,2
Gp22	10,0	11,2	1,2	0,36	180,2
Gp23	10,4	11,3	0,9	0,27	135,1
Gp24	10,3	11,3	1,0	0,30	150,2
Gp25	11,3	12,2	0,9	0,27	135,1
Gp26	11,6	12,5	0,9	0,27	135,1
Gp27	11,1	12,1	1,0	0,30	150,2
Gp28	10,3	11,6	1,3	0,39	195,2
Gp29	10,7	11,9	1,2	0,36	180,2
Gp30	10,9	11,4	0,5	0,15	75,1
<b>Promedio</b>	<b>10,6</b>	<b>11,7</b>	<b>1,1</b>	<b>0,3</b>	<b>157,7</b>
<p>NOTA</p> <p>Composición de la carga: P. de metal 10,0 g. Gesso 33,3 g.</p> <p>La menor granulometría del polvo de grafito hace más fluida la mezcla con el gesso, obteniéndose una capa más delgada de la carga. El recubrimiento obtenido es conductor de la corriente eléctrica</p>					

Tabla 73. Carga promedia en probetas de madera con aplicación en masa de grafito

<b>BRONCE</b>	<b>Aplicación por espolvoreo</b>				
<b>NUMERO ID</b>	<b>PESO PROBETA, g.</b>			<b>Carga metal, g.</b>	<b>Carga metal g./m2</b>
	<b>Imprimada</b>	<b>con carga</b>	<b>carga</b>		
<b>Bs1</b>	11,0	11,7	0,7	0,7	350
<b>Bs2</b>	9,7	10,6	0,9	0,9	450
<b>Bs3</b>	9,8	10,7	0,9	0,9	450
<b>Bs4</b>	10,5	11,7	1,2	1,2	600
<b>Bs5</b>	10,2	11,5	1,3	1,3	650
<b>Bs6</b>	11,4	12,2	0,8	0,8	400
<b>Bs7</b>	11,2	12,2	1,0	1,0	500
<b>Bs8</b>	10,0	11,1	1,1	1,1	550
<b>Bs9</b>	10,2	11,4	1,2	1,2	600
<b>Bs10</b>	10,9	12,2	1,3	1,3	650
<b>Promedio</b>	<b>10,5</b>	<b>11,5</b>	<b>1,0</b>	<b>1,0</b>	<b>520,0</b>
<b>NOTA</b>	Composición de la carga: Polvo de metal 100%				
	Impimación ligera de gesso				
	Tras aplicar con paletina una capa delgada de gesso se espolvorea el polvo de metal y se aplanan con espátula. Se pone encima un acetato y se presiona con otra probeta de madera. Tras secar se pasa un pincel de pelo suave para eliminar el polvo no adherido				

Tabla 74. Carga promedio en probetas de madera por espolvoreo de bronce

<b>COBRE</b> Espolvoreado sobre imprimación húmeda de gesso					
<b>NUMERO ID</b>	<b>PESO PROBETA, g.</b>			<b>Carga metal, g.</b>	<b>Carga metal g./m2</b>
	<b>Imprimada</b>	<b>con carga</b>	<b>carga</b>		
<b>Cs1</b>	11,2	12,8	1,6	1,6	800
<b>Cs2</b>	10,7	12,2	1,5	1,5	750
<b>Cs3</b>	10,7	11,7	1,0	1,0	500
<b>Cs4</b>	10,7	11,6	0,9	0,9	450
<b>Cs5</b>	10,9	12,0	1,1	1,1	550
<b>Cs6</b>	10,8	12,0	1,2	1,2	600
<b>Cs7</b>	11,1	12,5	1,4	1,4	700
<b>Cs8</b>	10,9	12,4	1,5	1,5	750
<b>Cs9</b>	10,5	12,0	1,5	1,5	750
<b>Cs10</b>	11,6	12,9	1,3	1,3	650
<b>Promedio</b>	<b>10,9</b>	<b>12,2</b>	<b>1,3</b>	<b>1,3</b>	<b>650,0</b>
<b>NOTA</b>	Composición de la carga: Polvo de metal Impimación ligera de gesso Tras aplicar con paletina una capa delgada de gesso se espolvorea el polvo de metal y se aplana con espátula. Se pone encima un acetato y se presiona con otra probeta de madera. Tras secar se pasa un pincel de pelo suave para eliminar el polvo no adherido.				100%

Tabla 75. Carga promedio en probetas de madera por espolvoreo de cobre

<b>LATÓN</b>		<b>Espolvoreado sobre imprimación húmeda de gesso</b>			
<b>NUMERO ID</b>	<b>PESO PROBETA, g.</b>			<b>Carga metal, g.</b>	<b>Carga metal g./m2</b>
	<b>Imprimada</b>	<b>con carga</b>	<b>carga</b>		
<b>Ls1</b>	10,4	11,9	1,5	1,5	750
<b>Ls2</b>	10,9	12,2	1,3	1,3	650
<b>Ls3</b>	10,3	11,7	1,4	1,4	700
<b>Ls4</b>	10,6	11,6	1,0	1,0	500
<b>Ls5</b>	10,4	11,6	1,2	1,2	600
<b>Ls6</b>	10,5	11,9	1,4	1,4	700
<b>Ls7</b>	11,0	12,6	1,6	1,6	800
<b>Ls8</b>	11,3	12,8	1,5	1,5	750
<b>Ls9</b>	10,3	11,9	1,6	1,6	800
<b>Ls10</b>	10,3	11,7	1,4	1,4	700
<b>Promedio</b>	<b>10,6</b>	<b>12,0</b>	<b>1,4</b>	<b>1,4</b>	<b>695,0</b>
<b>NOTA</b>	Composición de la carga: Polvo de metal 100%				
	Impimación ligera de gesso				
	Tras aplicar con paletina una capa delgada de gesso se espolvorea el polvo de metal y se aplana con espátula. Se pone encima un acetato y se presiona con otra probeta de madera. Tras secar se pasa un pincel de pelo suave para eliminar el polvo no adherido.				

Tabla 76. Carga promedio en probetas de madera por espolvoreo de latón

<b>HIERRO</b>	<b>Espolvoreado sobre imprimación húmeda de gesso</b>				
<b>NUMERO ID</b>	<b>PESO PROBETA, g.</b>			<b>Carga metal, g.</b>	<b>Carga metal g./m2</b>
	<b>Imprimada</b>	<b>con carga</b>	<b>carga</b>		
<b>Fs1</b>	10,2	10,7	0,5	0,5	250
<b>Fs2</b>	10,2	11,0	0,8	0,8	400
<b>Fs3</b>	10,2	10,9	0,7	0,7	350
<b>Fs4</b>	10,0	11,0	1,0	1,0	500
<b>Fs5</b>	10,1	10,6	0,5	0,5	250
<b>Fs6</b>	9,7	10,4	0,7	0,7	350
<b>Fs7</b>	10,5	11,1	0,6	0,6	300
<b>Fs8</b>	10,9	11,6	0,7	0,7	350
<b>Fs9</b>	9,8	10,4	0,6	0,6	300
<b>Fs10</b>	10,5	11,0	0,5	0,5	250
<b>Fs11</b>	10,1	10,5	0,4	0,4	200
<b>Fs12</b>	10,1	10,6	0,5	0,5	250
<b>Fs13</b>	10,0	10,7	0,7	0,7	350
<b>Fs14</b>	9,8	10,3	0,5	0,5	250
<b>Fs15</b>	10,8	11,2	0,4	0,4	200
<b>Fs16</b>	10,5	10,9	0,4	0,4	200
<b>Promedio</b>	<b>10,2</b>	<b>10,8</b>	<b>0,6</b>	<b>0,6</b>	<b>296,9</b>
<b>NOTA</b>	Composición de la carga: Polvo de metal 100% Impimación ligera de gesso Tras aplicar con paletina una capa delgada de gesso se espolvorea el polvo de metal y se aplana con espátula. Se pone encima un acetato y se presiona con otra probeta de madera. Tras secar se pasa un pincel de pelo suave para eliminar el polvo no adherido				

Tabla 77. Carga promedio en probetas de madera por espolvoreo de hierro

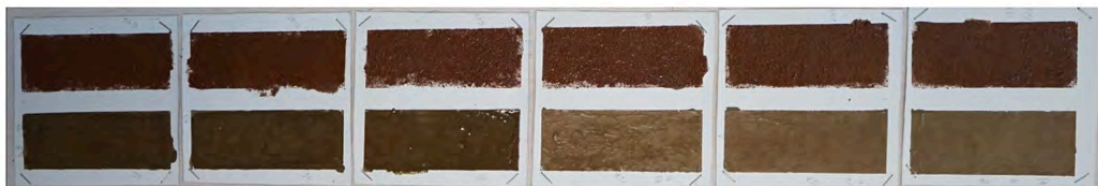
#### 4.2.3. Soportes de tejidos naturales y sintéticos

Son de aplicación todas las consideraciones anteriores referidas a las tablas, debiendo tenerse especial atención en no humedecer la parte posterior de la tela. Las Figuras 183 y 184 recogen el procedimiento utilizado para la preparación de probetas de tejido natural (lino), a las que se han aplicado pinturas comerciales de cobre o de bronce, y también por espolvoreo sobre una imprimación húmeda. Se han preparado más de 80 probetas de estas características.

Como ya se citó en la introducción del **epígrafe 3**, también se han preparado probetas de telas con imprimaciones específicas elaboradas a partir de resina de poliéster con polvo de cobre y de bronce (Figura 183.a y b), pudiendo hacerse de idéntico modo con cualquier otro tipo de resina (alquílica, alquídica, epoxi o de poliuretano). Las cargas de metal utilizadas han sido en las proporciones resina: polvo de metal 1:3 y 1:7-8, de modo idéntico a lo realizado sobre probetas de madera.



a



b

Figura 183. Probetas de telas con resina poliéster con polvo metálico (bronce y cobre)

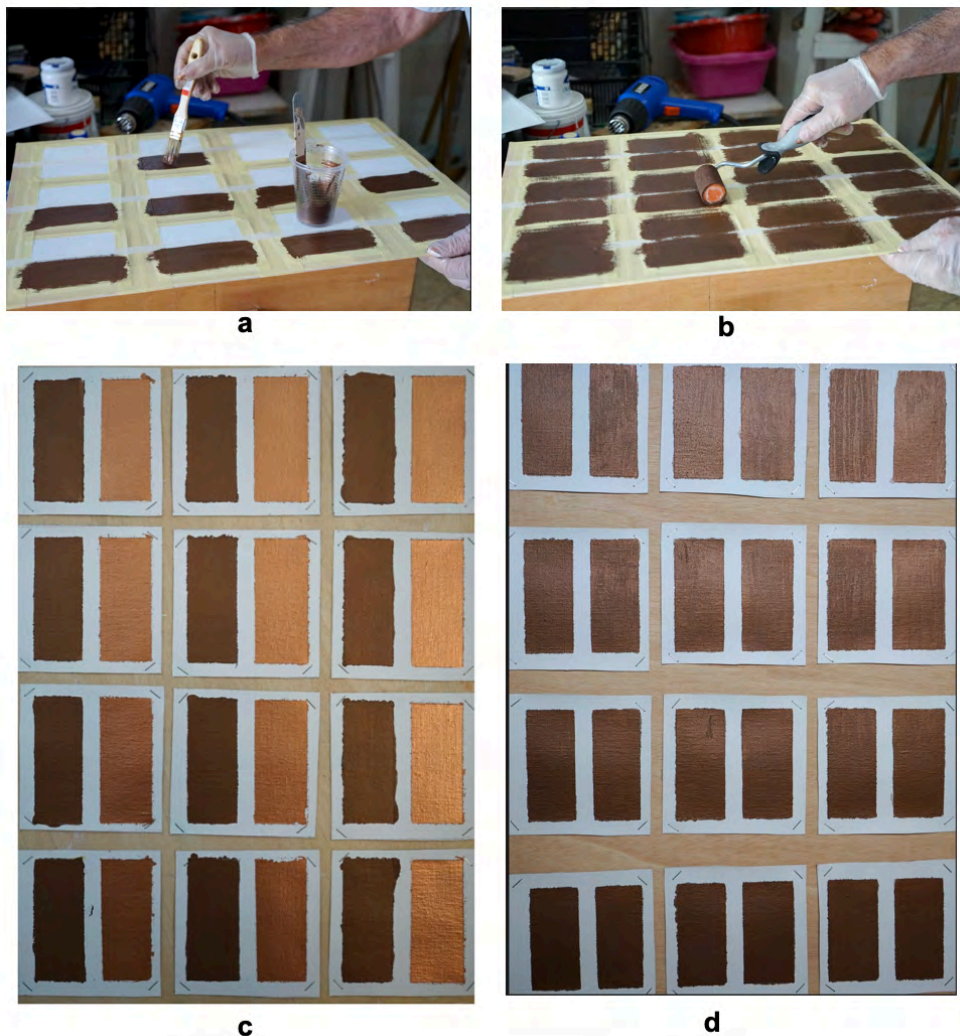


Figura 184. Probetas de lino preparadas con pintura comercial de cobre y de bronce

#### 4.2.4. Otros soportes

Son muchos los soportes que existen en el mercado, todos ellos válidos para la aplicación de cargas de metal siempre que se asegure la adecuada adhesión del aparejo y/o resina a utilizar, ya que hay determinados materiales que no son compatibles, por lo que es necesario probarlos previamente y, en su caso, aplicar una imprimación que sea compatible tanto con el soporte como con la resina que sea la portadora del polvo de metal.

Un caso específico que conviene señalar es la posibilidad de generar depósitos metálicos por electrólisis en las probetas preparadas (de madera y de lino con gesso o resinas), pero se ha constatado que las probetas con carga de metal aplicado en masa o por espolvoreado no son conductoras de la corriente eléctrica, según se ha puesto de manifiesto a lo largo de toda la investigación. La razón principal se debe a que las partículas de metal quedan aisladas, sin unión entre ellas. Para salvar este inconveniente se ha probado un recubrimiento con polvo de grafito, sorprendiendo que tampoco es

conductor de la corriente eléctrica cuando se aplica como carga con gesso o con resina alquílica (primal). Analizado el tema se ha llegado a encontrar un procedimiento que resuelve este problema de falta de conductividad de la carga de grafito. La solución es dar la carga de grafito por espolvoreado sobre gesso, primal o cola blanca, en húmedo, siguiendo el procedimiento descrito en el apartado 2 del apartado 4.2.2, pero añadiendo **una operación esencial**: una vez que ha secado la carga, pasar con firmeza una cuchara por su parte convexa para forzar a las partículas de grafito a adherirse entre sí. Con esta sencilla operación, la capa superficial se hace conductora de la electricidad, según se ha podido comprobar con un polímetro y, además, por su positivo comportamiento en la célula electrolítica, en la que se origina electrodeposición de metales sobre la superficie de grafito.

La Figura 185 muestra diversas probetas de madera preparadas con gesso en una primera capa, seguido de una carga de primal con polvo de grafito. Todas ellas no son conductoras de la corriente eléctrica, salvo aquellas a las que se ha aplicado el *procedimiento de la cuchara*, que aparecen más oscuras.



Figura 185. Probetas de madera con carga de grafito y resina alquílica

La Figura 186.a corresponde a una carga de grafito sobre tejido natural de algodón, que tras aplicar el *procedimiento de la cuchara* también es conductora de la electricidad. La Figura 186.b recoge la electrodeposición de

cobre generada en la célula electrolítica sobre la probeta de madera con carga de grafito, como prueba evidente de ser conductora de la corriente eléctrica.



Figura 186. Probetas de tejido natural (algodón) y de madera con EDM (cobre)

#### 4.3. Aparejos y cargas

Con objeto de mostrar la aplicabilidad de las técnicas desarrolladas a obras pictóricas y escultóricas, se han preparados los siguientes soportes:

1. Soporte de acero al carbono con recubrimiento de cobre 30x20 cm. y 33x50 cm. preparado en la célula electrolítica y por reacción de sustitución respectivamente. Figura 187.a y b



a



b

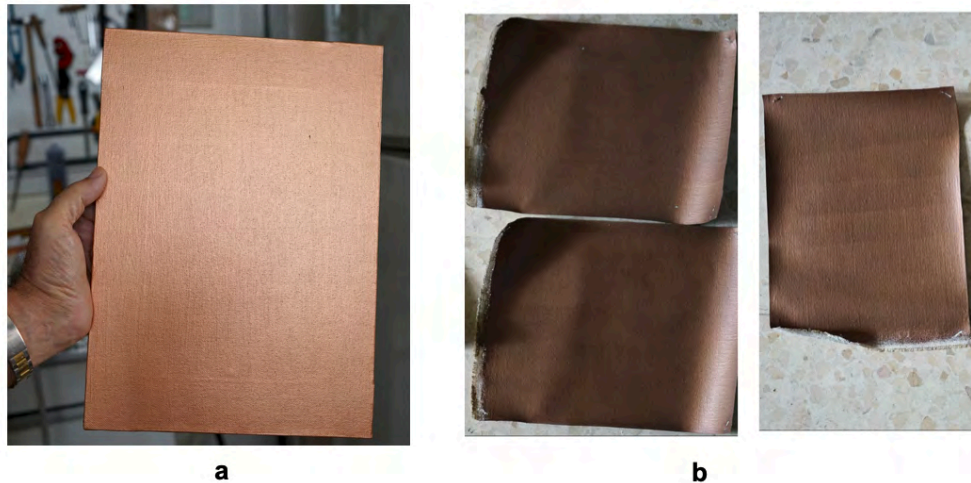
**Figura 187. Soportes de acero con recubrimiento de cobre**

2. Soporte de zinc para dibujo de 33x50 cm. Figura 188.



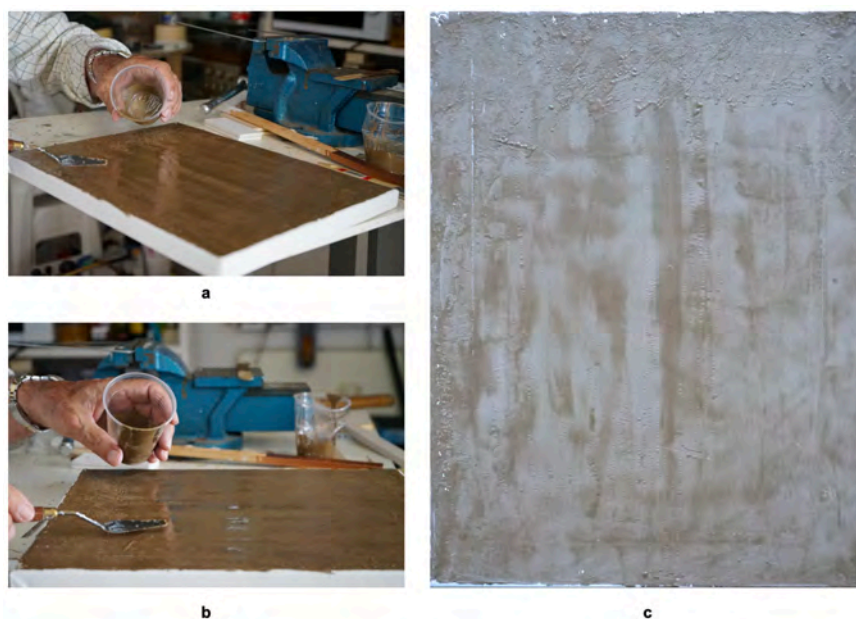
**Figura 188. Soporte de chapa de Zinc**

3. Tejido sintético sobre bastidor de 33x24 cm. (Formato F4) con aparejo de gesso y pintura comercial de cobre (Figura 189.a) y también retales de telas naturales de lino con imprimación de cola de conejo y aplicación de pintura comercial de bronce (Figura 189.b).



**Figura 189. Tejido sintético imprimado con polvo de cobre y bronce (pintura comercial)**

4. Tejido natural de algodón sobre bastidor de 35x27 cm. (Formato F5) con aparejo sintético y carga de polvo de bronce [460 g./m<sup>2</sup>] en masa utilizando resina de poliéster transparente sobre aparejo sintético, (Figura 190 a y b).



**Figura 190. Preparación de tejido de algodón con polvo de bronce en masa y resina de poliéster**

5. Tejido natural de lino sobre bastidor 73x50 (Formato M20), con imprimación de cola de conejo y carga de polvo de bronce aplicada por espolvoreado sobre resina de poliéster transparente. La Figura 191, partes a, b y c corresponden a etapas de preparación, y la parte d a su terminación antes de pasar a lijado y decapado químico.



Figura 191. Etapas para preparar un tejido con polvo de bronce y resina de poliéster

6. Madera con bastidor entelada con algodón y cola de conejo (35x25) con carga de polvo de hierro sobre primal en húmedo. Figura 192.

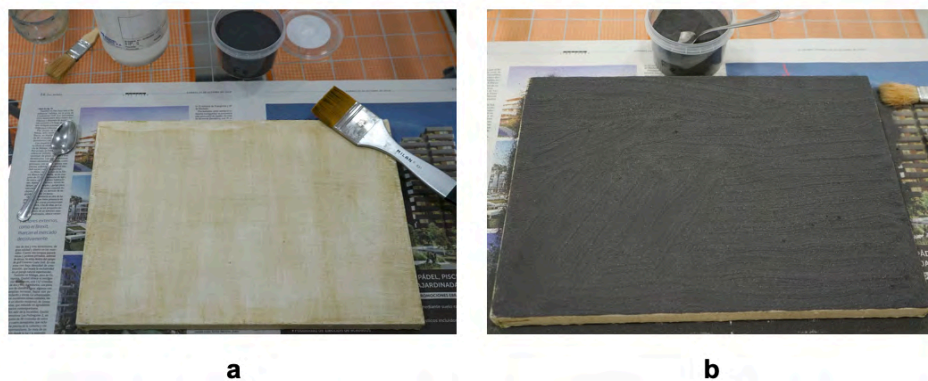


Figura 192. Tabla entelada con cola de conejo y carga de hierro sobre primal

7. Resina de poliuretano con carga de polvo de bronce aplicado al relieve de un paisaje modelado del natural. La Figura 193 muestra:

- a) paisaje modelado en arcilla
- b) molde de silicona
- c) inicio de puesta de polvo de bronce sobre el negativo de silicona
- d) añadido de polvo de bronce tamizado para asegurar granulometría fina
- e) distribución del polvo de bronce con pincel suave de abanico
- f) vertido y distribución de la resina de poliuretano sobre el polvo de bronce distribuido en el negativo del paisaje de silicona

Con estas operaciones se ha obtenido el soporte del relieve del paisaje ya con un recubrimiento de polvo de bronce para ser atacado posteriormente con recetas para obtener el color/colores deseados. Figura 193.

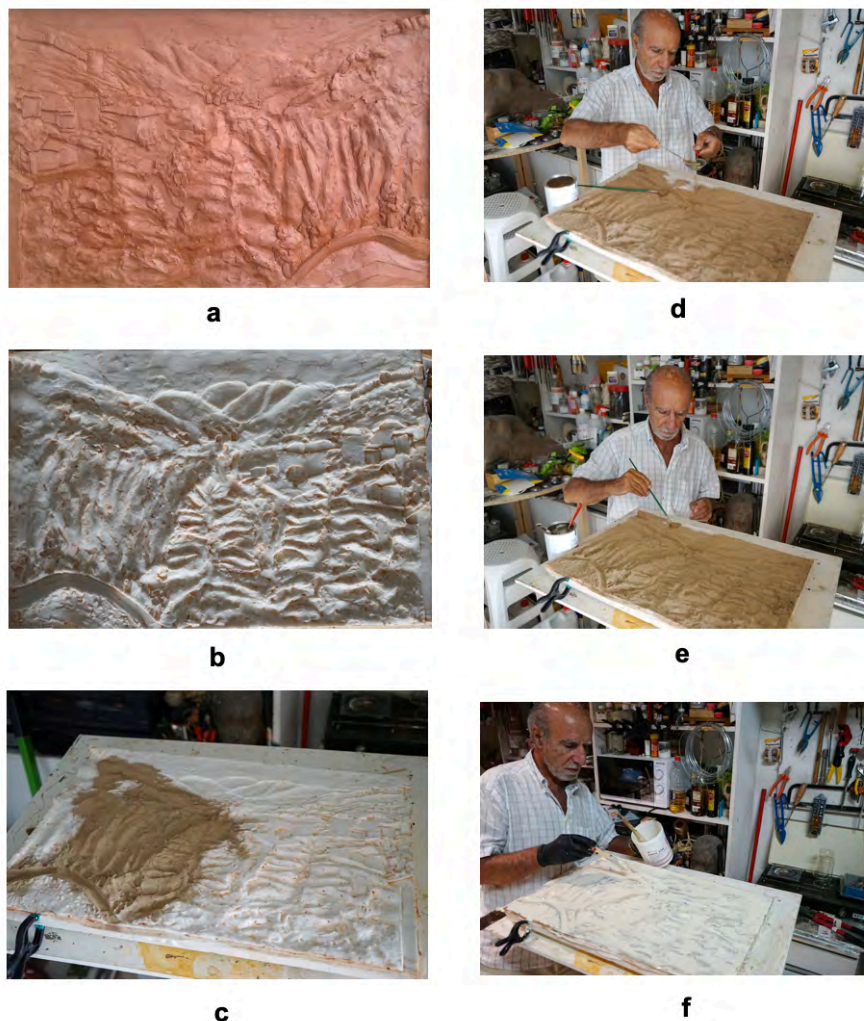


Figura 193. Procedimiento empleado para obtener un soporte de un paisaje modelado con arcilla



**Figura 194. Soporte de relieve de paisaje**

1. Resinas con cargas de polvos de distintos metales (Figura 195):

- a) Gemelos (poliéster y polvo de bronce)
- b) Grupo de osa y oseznos (poliéster y polvo de bronce)
- c) Relieve de toro (poliuretano y polvos de bronce y de hierro)
- d) Cabeza de perro (poliuretano y polvos de bronce, zinc, y hierro)



a



b



c



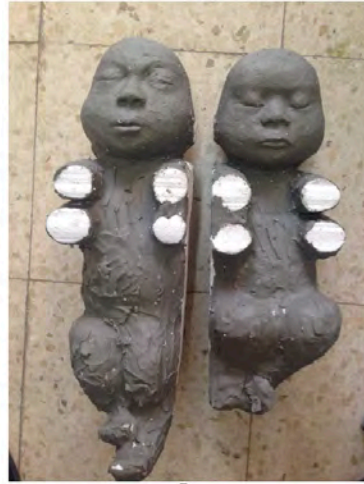
d

**Figura 195. Soportes varios**

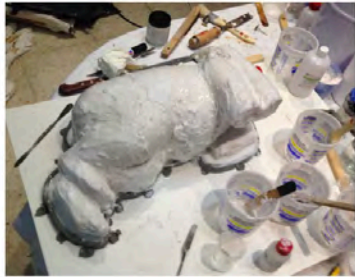
La Figura 196 muestra el proceso seguido para producir el soporte de los gemelos de la Figura 196.a, que como puede observarse se modeló con plastilina gris (Figuras 196.a y b) sobre un bloque de poliestireno expandido previamente tallado con hilo caliente. El molde de silicona se hizo en dos partes por cada figura -cuerpo y cabeza- según reflejan las Figuras 196.c, d y e. Los moldes de silicona, con las correspondientes carcasas de escayola, permitieron hacer en bronce frío cuatro partes que unidas entre sí condujeron al grupo de los gemelos (Figura 196.f), ya válida para poder aplicarle color.



**a**



**b**



**c**



**d**



**e**



**f**

Figura 196. Proceso seguido para elaborar el soporte de la escultura Gemelos

La Figura 197 corresponde a distintas etapas de elaboración del soporte correspondiente al grupo de osa y oseznos de la Figura 197.b. El grupo fue modelado en barro, vaciado a escayola (Figura 197.a), hecho un molde de silicona (Figuras b, c) y con este molde se ha laminado la escultura con resina de poliéster con fibra de vidrio sobre una primera capa -la parte vista de la escultura- con polvo de bronce en masa (Figura 197.d), resultando la obra bruta (Figura 197.e), procedimiento que en terminología inglesa se denomina *Cold Cast Bronze* [Bronce Frío]. A esta obra se genera color mediante su ataque con vapores en recinto cerrado (Figura 197.f).



**a**



**b**



**c**



**d**



**e**



**f**

Figura 197. Proceso seguido en la escultura Osa y Osezno

La Figura 198 recoge el proceso de generación del soporte mostrado en la Figura 198.c. de relieve de toro. Se muestra la silicona hecha sobre el modelo de escayola (Figura 198.a). el molde de silicona colocado sobre su carcasa permitió espolvorear polvo de bronce y polvo de hierro sobre la silicona y, posteriormente verter poliuretano sobre el polvo de bronce y de hierro. Una vez polimerizado se sacó el relieve del toro, al que se añadió el cuerno de primer plano que se hizo aparte por similar procedimiento, según refleja la Figura 198.c.



a



b



c

**Figura 198. Proceso para el Relieve de Toro**

Por último, la Figura 199 muestra algunas fases de elaboración de la cabeza de perro referida en la Figura 195.d. Esta cabeza de Beagle fue modelada en barro del natural y vaciada a escayola. Se hizo un molde de silicona en dos partes (Figura 199.a), sobre las que se espolvoreó polvo de hierro en las orejas, polvo de zinc en el hocico y polvo de bronce en el resto del interior de la silicona. Se vertió poliuretano de modo controlado, primero en las orejas y el



**a**



**b**



**c**



**d**

**Figura 199. Proceso para la escultura Cabeza de perro**

hocico, para posteriormente espolvorear el polvo de bronce y verter la resina sobre cada mitad del molde. Unidas ambas partes, se procedió a unir las - previa puesta de polvo de bronce (de zinc en el hocico) en la junta- vertiendo mayor cantidad de resina para dar el espesor suficiente para asegurar la resistencia del conjunto de la cabeza. Abierto el molde, resultó la escultura en bruto de la Figura 199.c, en la que puede observarse el color negro de las orejas hechas con polvo de hierro, grisáceo en el hocico, y el resto de la cabeza con polvo de bronce. La Figura 199.d muestra la aplicación de una pátina de base aplicada con brocha a la superficie de bronce, previo lijado suave y decapado con ácido nítrico diluido al 10% para las partes de bronce y zinc, y con ácido fosfórico al 10% para las orejas con polvo de hierro.

#### **4.4. Aplicación de recetas y sus condiciones**

Del mismo modo que se han generado distintos colores por ataque químico de probetas metálicas, se han aplicado diversas recetas a probetas de madera y de diversos tejidos de fibras naturales -lino y algodón- y sintéticos preparados con cargas de polvos de metales, comprobándose el correcto funcionamiento de las recetas sobre los distintos soportes investigados, teniendo el polvo metálico un comportamiento similar al de los metales utilizados en las probetas ya que, en definitiva, se está provocando idénticas reacciones químicas sobre el mismo metal, sea en chapa o en polvo.

Este hecho abre la posibilidad de realizar creaciones artísticas con la metodología basada en la generación de color por ataque del soporte debidamente preparado con algunos de los procedimientos probados en este trabajo de investigación.

Las Figuras 200 a 204 muestran el conjunto de probetas específicas preparadas sobre madera antes de aplicar receta alguna ni tratamiento previo. Sobre cada probeta se ha marcado el tipo de carga aplicado y el número de la receta con la que va a ser tratada.

Las Figura 205 a 208 recogen las probetas de madera ya tratadas con las recetas seleccionadas de la Tabla 67, mostrando los resultados de colores obtenidos.





Figura 201. Probetas de madera con cargas de metal (para Recetas 48 a 75)



Figura 202. Probetas de madera con cargas de metal (para Recetas 76 a 155)



Figura 203. Probetas de madera con cargas de metal (para Recetas 161 a 500)



Figura 204. Probetas de madera con cargas de metal (para Recetas 500 y 501)





Figura 206. Panel con probetas de madera 48 a 80 después de aplicar recetas





Figura 208. Panel con probetas de madera 162-501 después de aplicar recetas

La Tabla 78 recoge una selección de recetas aplicadas a más de 100 probetas de distintos tejidos, naturales y sintéticos, unas sujetas con grapas a soporte de madera, otras fijadas a madera con resina alquídica. A todas las probetas de tejidos se ha aplicado distintas cargas de polvo de bronce, cobre, latón, zinc, hierro o aluminio, que una vez polimerizada la resina, se ha sometido la carga de polvo de metal a tratamiento con decapante para limpiar la superficie de cada partícula del óxido que normalmente se produce con el contacto del mismo con el aire, habiéndose elegido el decapado en función de la naturaleza de la carga de polvo de metal:

Cargas de Bronce, Cobre, Zinc.	Solución de ácido nítrico (10%)
Cargas de Latón	Solución sulfonítrica (10%-10%)
Cargas de Hierro, Aluminio	Solución de ácido fosfórico (10%)

La aplicación de la solución decapante se ha realizado con paletina de cerda natural durante 5-8 segundos, seguido de aclarado con chorro controlado de agua, cuidando no humedecer la parte de la tela no protegida, y secado posterior con aire caliente. Es importante utilizar en estas operaciones de decapado químico las medidas de seguridad ya apuntadas -tanto de ventilación como de protección personal- ya que en algunos tratamientos se generan vapores tóxicos.

La Figura 209 recoge un panel con probetas de tejidos de fibra vegetal, lino en este caso, ya tratadas con las respectivas recetas.

	BRONCE	COBRE	LATON	ZINC	HIERRO	ALUMINIO
BLANCO	450	450	450	450		
GRIS			55			51-97-99
NEGRO				63		
AZUL	22	168	53	59		108
ROJO	460	460	66	61-69-73	28	
AMARILLO	464	464		74		
OCRE			50		32-500	98
VIOLETA						
VERDE	34-59					80
MARRON					97	
NARANJA		230	134		11-31	

Tabla 78. Matriz de colores por Metal y Recetas seleccionadas para probetas de tejidos



Figura 209. Probetas de tejido vegetal de lino después de aplicar recetas seleccionadas



## 5. APLICACION PRACTICA DE RESULTADOS

En este epígrafe se recogen algunas aplicaciones derivadas de los resultados obtenidos de la investigación, debiéndose interpretar simplemente como ejercicios de demostración de las técnicas y procedimientos abordados a lo largo de esta tesis que, a nuestro juicio, pueden ser utilizados en la creación de obra artística, especialmente en Dibujo, Pintura y en Escultura.

### 5.1. Obra gráfica

En esta sección se recogen las fichas técnicas de los ejercicios de demostración.

#### 5.1.1. Dibujo 1

Ficha técnica (Figura 210):

Título: Perro Jack Russel

Técnica: Dibujo por deposición de cobre con pincel utilizando sulfato y nitrato de cobre

Soporte: Chapa de zinc

Preparación: Desengrasado con detergente aniónico, y lavado con agua seguido de lijado suave.

Medidas: 33x50 cm.

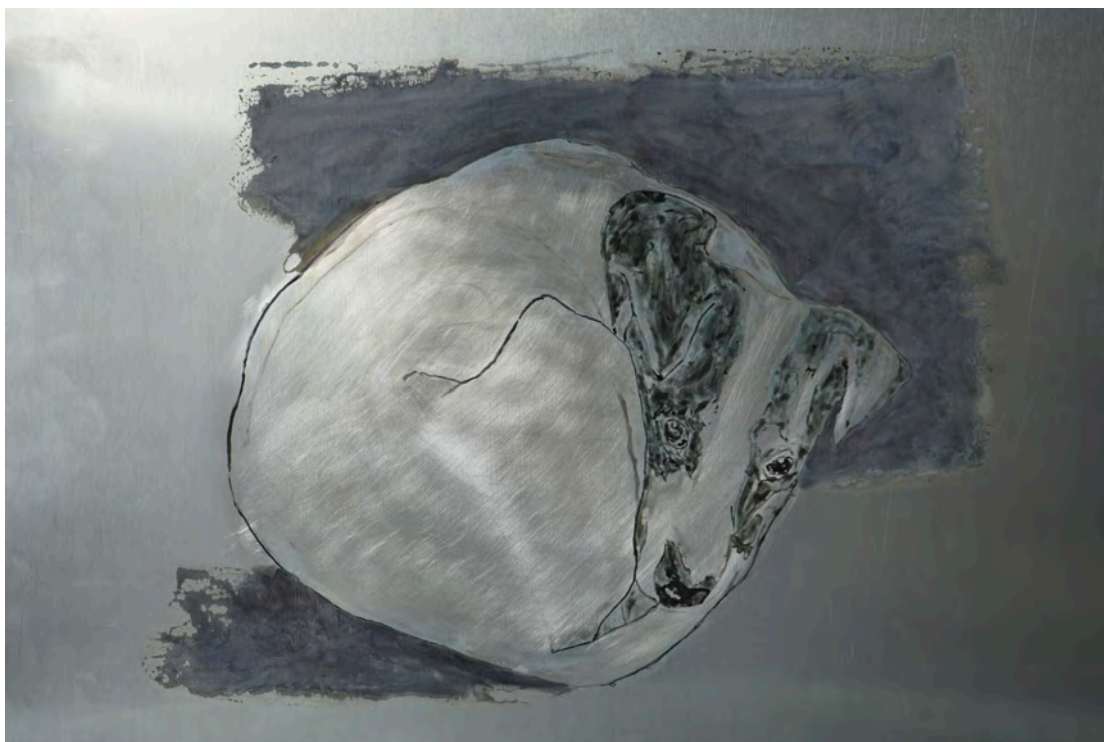


Figura 210. Dibujo con sulfato y nitrato de cobre sobre chapa de zinc

### 5.1.2. Dibujo 2

Ficha técnica (Figura 211):

Título: Retrato de Doña Pepita

Técnica: Dibujo por deposición de cobre y aplicación de las recetas 162, 169 y 220.

Soporte: Chapa de acero

Preparación: Desengrasado con detergente aniónico, lavado con agua y lijado suave. Deposición de cobre por reacción de sustitución del ion  $\text{Cu}^{++}$  por el ion  $\text{Fe}^{+++}$  a partir de sulfato de cobre.

Medidas: 55x33 cm.

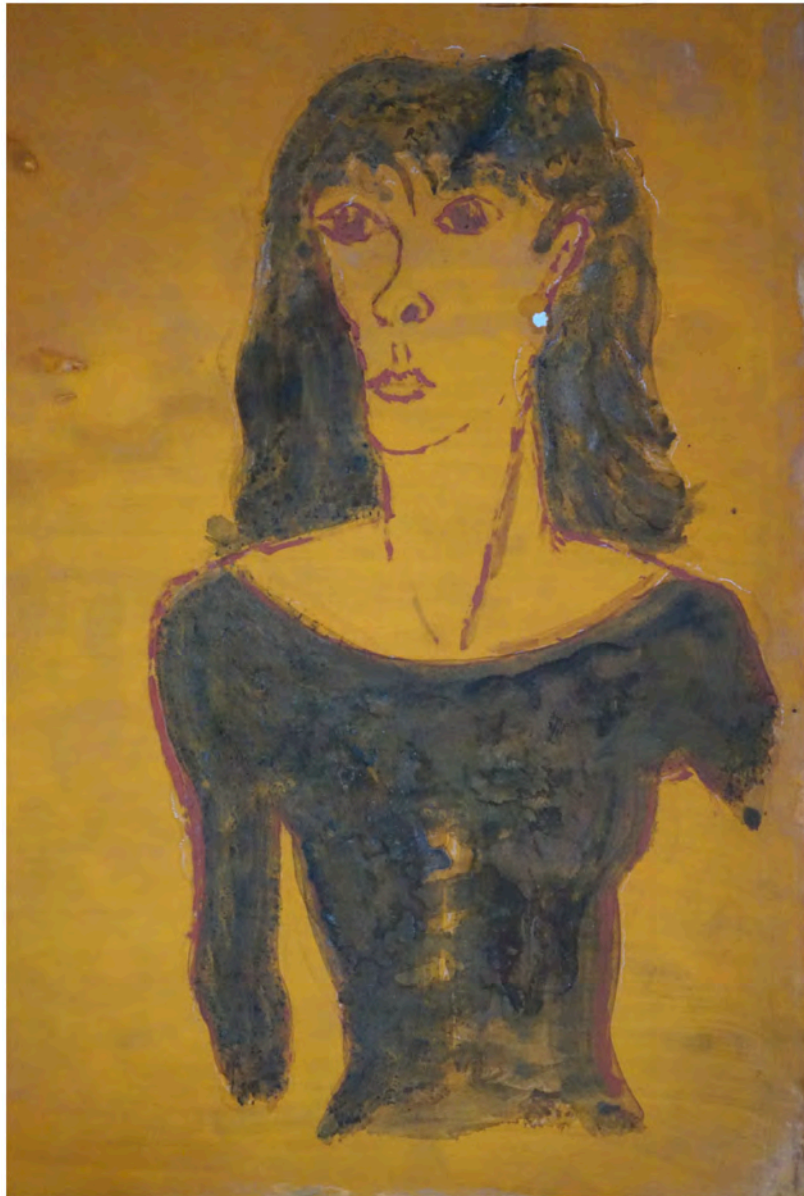


Figura 211. Retrato de Doña Pepita

## 5.2. Obra pictórica

### 5.2.1. Pintura 1

Ficha técnica (Figura 212):

Título: Ejercicio de color I.

Técnica: Pintura sobre tela de fibra vegetal de lino con aparejo de cola de conejo y carga de polvo de bronce sobre poliéster por espolvoreo. Generación de color sobre el soporte con las recetas 35, 111, 151, 164, 454, 460 y 464 aplicadas en frío.

Soporte: Tejido natural de lino sobre bastidor convencional.

Preparación: Decapado químico de la carga de bronce con ácido nítrico 10% y lavado con agua.

Medidas: 73 x 50 cm.



Figura 212. Pintura sobre lino con carga de polvo de bronce sobre poliéster

## 5.2.2. Pintura 2

Ficha técnica (Figura 213):

Título: Ejercicio de color II.

Técnica: Generación de color sobre el soporte de tela de algodón con carga de polvo de bronce en masa con resina de poliéster. Aplicación de nueve recetas: 17, 58, 61, 111, 120, 151, 282, 454, 460, aplicadas en frío.

Soporte: tejido de algodón sobre bastidor F5 convencional.

Preparación: Aplicación de lija 200 en húmedo para eliminar la resina de la capa exterior y hacer aflorar el grano de metal, seguido de decapado químico de la carga de bronce con ácido nítrico al 10%. Lavado con agua.

Medidas: 35x27 cm.



Figura 213. Pintura sobre madera con carga de polvo de bronce

### 5.2.3. Pintura 3

Ficha técnica (Figura 214):

Título: Ejercicio de color III

Técnica: Generación de color sobre soporte de tablero entelado, con carga de polvo de hierro sobre resina acrílica por espolvoreo. Aplicación en frío de ocho recetas [53,132,126, 125, 136, 135, 454 y 72].

Soporte: Tablero de 7 mm. encolado sobre bastidor realizado con listón de madera de samba de 50x20 mm. de sección, entelado con tela de algodón y cola de conejo. Imprimación acrílica y carga de polvo de hierro.

Preparación: Decapado químico de la carga de hierro con ácido fosfórico al 10% y lavado con agua.

Medidas: 35x25 cm.



Figura 214. Pintura sobre madera entelada con algodón con carga de polvo de hierro

### 5.3. Obra escultórica

#### 5.3.1. Escultura 1

Ficha técnica (Figura 215):

Título: Gemelos.

Técnica: Bronce frío con pátina rojiza.

Soporte: Poliéster con carga de polvo de bronce.

Preparación: Decapado químico de la carga de bronce con ácido nítrico diluido y lavado con agua. Pátina base con receta 17. Aplicación de las recetas 17, 61 y 450 utilizando aire caliente.

Medidas: 60x44x32 cm.



Figura 215. Gemelos

### 5.3.2. Escultura 2

Ficha técnica (Figura 216):

Título: Osa y osezno

Técnica: Bronce frío con pátinas

Soporte: Poliéster con carga de polvo de bronce

Preparación: Decapado químico de la carga de bronce con ácido nítrico diluido y lavado con agua. Pátina base 17. Recetas con vapores de ácido acético glacial y vinagre Pedro Jiménez.

Obsérvese el oscurecimiento que tiene lugar cuando se aplica una capa de resina de poliéster sobre el color obtenido con vapores.

Medidas: 33x73x50 cm.



Figura 216. Osa y osezno

### 5.3.3. Escultura 3

Ficha técnica (Figura 217):

Título: Relieve de toro.

Técnica: Bronce y hierro en frío.

Soporte: Poliuretano con carga de polvo de bronce y hierro.

Preparación: Decapado químico de la carga de bronce con ácido nítrico diluido y del hierro con ácido fosfórico diluido. Lavado con agua. Pátina base 17 y aplicación de recetas 24 y 164.

Medidas: 30x45x7 cm.



Figura 217. Relieve de toro

### 5.3.4. Escultura 4

Ficha técnica (Figura 218):

Título: Cabeza de perro Beagle.

Técnica: Cargas múltiples de metales en frío con pátina sobre resina.

Soporte: Poliuretano con carga de polvos de bronce, zinc y hierro.

Preparación: Resina de poliuretano con cargas múltiples, decapado químico con ácido nítrico 10% (zonas de bronce y zinc), ácido fosfórico 10% (zona de hierro) y lavado con agua. Pátina base 17. Pátinas 32, 61, 73, 454.

Medidas: 30x31x21 cm.



Figura 218. Cabeza de perro (Beagle)

### 5.3.5. Escultura 5

Ficha técnica (Figura 219):

Título: Relieve de paisaje.

Técnica: Bronce frío con pátinas.

Soporte: Resina de poliuretano con carga de polvo de bronce.

Preparación: Decapado con ácido nítrico diluido, lijado con Spontex verde y lavado con agua. Pátina base parcial 17. Recetas 34, 35, 58, 59, 70, 107, 164, 168, 282, 454, 460 y 464.

Preparación: Decapado químico de la carga de bronce con ácido nítrico diluido y lavado con agua.

Medidas: 40x60x1 cm.















Figura 219. Relieve de paisaje

## 6. RECETAS Y COLORES

La aplicación práctica de las distintas técnicas y procedimientos desarrollados a lo largo de este trabajo hace aconsejable recopilar en un único lugar el listado completo de recetas con los colores que producen al ser aplicadas sobre los distintos metales. Este es el objeto principal de este epígrafe, y la lista de recetas utilizadas es la siguiente:















































































			BRONCE	COBRE	LATON	ZINC	HIERRO	ALUMINIO
<b>RECETA</b> 1	Sulfato de cobre Agua destilada Cloruro Amónico	R- 63 y 64 2,5 100 0,05						
<b>Ebullición</b>	Agua destilada	100						
<b>RECETA</b> 2	Acetato de cobre diluido Agua destilada	R- 120 0,5- 1 80						
<b>En frío</b>								
<b>RECETA</b> 3	Sulfato de cobre Agua destilada Cloruro Amónico	63-64 R- 63 y 64 2,5 100 0,2						
<b>Ebullición</b>								
<b>RECETA</b> 4	Sulfato de cobre Acetato de cobre Cloruro sódico Nitrate potásico	R- 325 2,5 100 0,2 0,15						
<b>Ebullición</b>	Agua	100						
<b>RECETA</b> 5	Sulfato de cobre Bicarbonato amónico Bitartrato Potásico	R- 182 5 20 pasta						
<b>Pasta</b>								
<b>RECETA</b> 6	Permanganato potásico Agua destilada	R- 76 1 100						
<b>Ebullición</b>								
<b>RECETA</b> 7	Sulfato de cobre Agua destilada	63-64 R- 64 2,5 100						
<b>Ebullición</b>								
<b>RECETA</b> 8	Sulfato de Cobre Sulfato de Hierro Sulfato de Zinc Permanganato Potásico	R- 104 5 0,5 0,5 0,25						
<b>Ebullición</b>	Agua	100						
<b>RECETA</b> 9	Sulfato de cobre Bicarbonato amónico Bitartrato Potásico Cloruro sódico	R- 182 5 20 5 5						
<b>En frío</b>	Acido acético	pasta						
<b>RECETA</b> 10	Permanganato potásico Agua destilada	R- 76 1 100						
<b>Ebullición</b>								
<b>RECETA</b> 11	Sulfato de cobre Amoniaco (30%) Agua destilada	R- 101 12 9 100						
<b>Ebullición</b>								
<b>RECETA</b> 12	Residuo Rokusho	R- Nueva						

				BRONCE	COBRE	LATON	ZINC	HIERRO	ALUMINIO
RECETA 13	Nitrato de cobre Agua destilada	R- 162 10- 20							
<b>Ebullición</b>									
RECETA 14	Sulfato de cobre Acetato de cobre Nitrato potásico Agua destilada	R- 105 10 - 0,625 4 - 0,125 4 - 0,125 100							
<b>Ebullición</b>									
RECETA 15	Trisulfuro de Antimonio Óxido Férrico Bicarbonato Amónico Agua destilada	R- 111 3 1 2 hasta pasta							
<b>Caliente</b>									
RECETA 16 = 221	Tiosulfato de sodio Nitrato de hierro Agua destilada	13-60 R- 13 0,7 5 100							
<b>60°C</b>									
RECETA 17	Sulfuro potásico ( K <sub>2</sub> S) Agua destilada	R- Pretratamiento 2,5 100							
<b>90°C</b>									
RECETA 18	Acido nítrico Agua destilada	R- Decapado 10% 90%							
<b>90°C</b>									
RECETA 19	PATINA BASE Nitrato Férrico Agua destilada	R- 92 1 100							
<b>90°C</b>									
RECETA 20	Original Blue Cu (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> Cl NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> O	R- 31 4,2 6,5 100							
<b>70°C</b>									
RECETA 21	TAN	R- TAN							
<b>En frío</b>									
RECETA 22	Birchwood- Antique Black	R- Antique Black M-20							
<b>En frío</b>									
RECETA 23	Antiquiting	R- Antiquiting							
<b>En frío</b>									
RECETA 24	Rainbow	R- Rainbow							
<b>100°C</b>									

		BRONCE	COBRE	LATON	ZINC	HIERRO	ALUMINIO
RECETA 25	White Bshmath	R- White Bshmath					
100°C							
RECETA 25b	Nitrato de bismuto Acido nítrico Solución TiO <sub>2</sub> (10%) Agua destilada Pre-patina 17	R- Nueva					
100°C		2 gotas	3 gotas	2 gotas	10		
RECETA 26	Light Green	R- Light Green					
90°C							
RECETA 27	Nitrato de Cobre Nitrato Férrico Agua destilada	R- 74					
90°C		3	3	100			
RECETA 28	Nitrato Férrico Sulfuro potasio Sulfuro amónico Amoniaco	R- 14					
70-80°C		1,2	1,2	3			
RECETA 29	Nitrato de Cobre Nitrato Férrico Agua destilada	R- 73					
70-80°C		2,5	2,5	100			
RECETA 30	Hidróxido sódico Trisulfuro de Antimonio Agua destilada	R- 16					
70-80°C		1,5	0,4	100			
RECETA 31	Sulfuro potásico Cloruro amónico Agua destilada	R- 30					
90°C		1,5	20	100			
RECETA 32	Sulfuro de Cobre Sulfuro amónico Agua destilada	R- 32					
90°C		1	0,5	100			
RECETA 33	Tiosulfato potasico Acido nítrico Agua destilada	R- 33					
En frío 1h.		6	0,4	100			
RECETA 34-38	PATINA BASE Nitrato de cobre Agua destilada	R- 1					
Caliente		6	100				
RECETA 34 20	Cu (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> Cl NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> O	R- 20					
En Frío		4,2	6,5	100			
RECETA 35	Cloruro de cobre Cloruro amónico Amoniaco (30%) Agua destilada	R- 161					
70°C		6	12	12	100		

				BRONCE	COBRE	LATON	ZINC	HIERRO	ALUMINIO
<b>RECETA</b>		<b>R- 9</b>							
36	Carbonato de cobre	0,6							
	Bicarbonato amónico	1,2							
	Bicarbonato de sodio	0,3							
<b>Caliente</b>	Agua destilada	100							
<b>RECETA</b>		<b>R- 0</b>							
37	Dicromato potásico	0,5							
	Agua destilada	100							
<b>Caliente</b>									
<b>RECETA</b>		<b>R- 10</b>							
38	Nitrato férrico	5							
	Sulfuro de potasio	5							
	Agua	100							
<b>En Frio</b>	Dicromato sódico	2,5							
<b>RECETA</b>		<b>R- 10</b>							
38 bis	Nitrato férrico	5							
A	Sulfuro de potasio	5							
	Agua	100							
B	Cloruro férrico	10							
	Amoniaco	10							
<b>En Frio</b>	Agua destilada	100							
<b>RECETA</b>		<b>R- 10</b>							
39	Nitrato férrico	5							
	Sulfuro de potasio	5							
	Agua	100							
<b>En Frio</b>									
<b>RECETA</b>		<b>R- 22</b>							
40	Cloruro férrico	20							
	Ferrocianuro potásico	3							
	Agua destilada	30							
<b>En Frio</b>									
<b>RECETA</b>		<b>R- Solución Effect Blue</b>							
41	Nitrato de cobre	4,2							
	Cloruro amónico	6,5							
	Agua destilada	100							
<b>En Frio</b>									
<b>RECETA</b>		<b>R- Original Blue</b>							
42	Nitrato de Cobre	3,5							
= 55	Amoniaco	2							
	Agua destilada	100							
<b>Caliente</b>									
<b>RECETA</b>		<b>R- 25</b>							
43	Acido Fosfórico	10							
	Acido fluorhídrico	1							
	Agua	100							
<b>En Frio</b>									
<b>RECETA</b>		<b>R- 15</b>							
44	Sulfuro de potasio	1							
	Hidróxido de sodio	0,25							
	Agua destilada	100							
<b>Caliente</b>									
<b>RECETA</b>		<b>R- 17</b>							
45	Carbonato de cobre	2,4							
	Cloruro amónico	2,4							
	Agua destilada	10							
<b>Caliente</b>	Vinagre	0,8							
<b>RECETA</b>		<b>R- 51</b>							
46	Carbonato de cobre	2,4							
	Cloruro amónico	2,4							
	Ácido acético	1,25							
<b>En Frio</b>	Agua destilada	10							
<b>RECETA</b>		<b>R- 36</b>							
47	Cloruro férrico	2							
	Ferrocianuro potásico	2							
	Agua destilada	8							
<b>En Frio</b>									

				BRONCE	COBRE	LATON	ZINC	HIERRO	ALUMINIO
RECETA 48	Sulfato amónico Agua destilada	R- 37.1	5,2 100						
En Frío									
RECETA 49	Sulfuro amónico Agua destilada	R- 38	5,2 100						
En Frío									
RECETA 50	Cloruro Férrico Ferrocianuro potasio Agua destilada	R- 39	1,6 1,6 100						
Caliente									
RECETA 51	Hidróxido de sodio Persulfato potasio Agua destilada	R- 40	2,5 1 100						
Caliente									
RECETA 52	Amoniaco Sulfuro de potasio Agua destilada	R- 42	5 1 100						
En Frío									
RECETA 53	Amoniaco Carbonato de cobre Agua destilada	R- 43	75 10 15						
En Frío									
RECETA 54	Original y Effect Blue	R-							
En Frío									
RECETA 55 = 42	Nitrato de Cobre Amoniaco Agua destilada	R- 31	3,5 2 100						
En Frío									
RECETA 56	Nitrato de Cobre Acido nítrico Amoniaco Agua destilada	R- Modificada	3,5 2 gotas 2 100						
Caliente									
RECETA 57	Original Blue	R-							
Caliente									
RECETA 58	Sulfato de cobre Acetato de cobre Sulfato Al-K Acido nítrico Agua destilada	R- 70	4,7 0,8 1,9 5 gotas 100						
Caliente									
RECETA 59	71-72 Cloruro amónico Nitrato de cobre Sulfato de cobre Cloruro cálcico Acido oxálico Agua destilada	R- 71	8 8 1,6 2 1 40						
En Frío									
RECETA 60	Nitrato férrico Oxido férrico Agua destilada	R- 75	0,8 0,8 100						
Caliente									

				BRONCE	COBRE	LATON	ZINC	HIERRO	ALUMINIO
RECETA 61	Sulfuro de potasio Oxido férrico Sulfuro de cobre Agua destilada	R- 50    	18 24 18 100						
RECETA 62	Cloruro amónico Sulfato de cobre Agua destilada	R- 52   	0,05 10 100						
RECETA 63	Nitrato de cobre Sulfato de Niquel Clorato potásico Agua destilada	R- 53   	0,4 0,4 0,4 100						
RECETA 64 = 7	Sulfato de cobre Agua destilada	R- 58  	2,5 100						
RECETA 65	Sulfato de cobre Sulfuro potásico Agua destilada	R- 55   	0,8 0,8 100						
RECETA 66	Sulfato de cobre Sulfuro potásico Oxido férrico Agua destilada	R- 56   	6,3 6,3 8,4 100						
RECETA 67	Receta 56 Nitrato férrico Agua destilada	R- 57   	8 gotas 6 100						
RECETA 68	Sulfato de cobre Acetato de cobre Acido acético 10% Sulfato Aluminico Potasico	R- 54   	4 7 1 0,6						
RECETA 69	Carbonato de cobre Hidróxido sódico Agua destilada	R- 59   	1,6 0,8 100						
RECETA 70	Carbonato de cobre Tiosulfato sódico Agua destilada	R- 62   	2 10 100						
RECETA 71	Cloruro amónico Acido acético Oxalato de potasio	R- 80   	2 100 0,5						
RECETA 72	Cloruro amónico Vinagre Oxalato potasio	R- 81   	2 100 0,5						
RECETA 73	Cloruro amónico Amoniaco Vinagre Oxido férrico	R- 82   	1 1 100 20						

				BRONCE	COBRE	LATON	ZINC	HIERRO	ALUMINIO
<b>RECETA</b>		<b>R- 83</b>							
74	Nitrato férrico	6,5							
	Tiosulfato sódico	0,8							
	Agua destilada	100							
<b>En Frio</b>									
<b>RECETA</b>		<b>R- 84</b>							
75	Nitrato de cobre	10							
	Acido acético	10							
	Cloruro férrico	10							
<b>En Frio</b>	Agua destilada	100							
<b>RECETA</b>		<b>R- 85</b>							
76	Nitrato de cobre	1,7							
	Acido acético	1,7							
	Cloruro férrico	1,7							
<b>En Frio</b>	Agua destilada	100							
<b>RECETA</b>		<b>R- 86</b>							
77	Sulfato de cobre	3							
	Clorato potasico	1,5							
	Agua destilada	100							
<b>En Frio</b>									
<b>RECETA</b>		<b>R- 87</b>							
78	Sulfuro potasio	1							
	Sulfuro de cobre	1							
	Oxido férrico	0,25							
<b>Caliente</b>	Agua destilada	100							
<b>RECETA</b>		<b>R- 88</b>							
79	Nitrato férrico	0,8							
	Tiosulfato sódico	0,8							
	Agua destilada	100							
<b>Caliente</b>									
<b>RECETA</b>		<b>R- 89</b>							
80	Sulfato de cobre	14,3							
	Carbonato de cobre	14,3							
	Acetato de cobre	14,3							
<b>En frio</b>	Agua destilada	100							
<b>RECETA</b>		<b>R- 91</b>							
81	Nitrato férrico	2,5							
	Cloruro férrico	2,5							
	Agua destilada	100							
<b>Caliente</b>									
<b>RECETA</b>		<b>R- 95</b>							
82	Hidróxido sódico	1,6							
	Trisulfuro de antimonio	0,8							
	Agua destilada	100							
<b>Caliente</b>									
<b>RECETA</b>		<b>R- 96</b>							
83	Acetato de cobre	1							
	Carbonato amónico	3							
	Acido tartarico	1							
<b>En frio</b>	Vinagre	<b>Pasta</b>							
<b>RECETA</b>		<b>R- 98</b>							
84	Cloruro amónico	0,5							
	Acetato de cobre	0,5							
	Agua destilada	100							
<b>Caliente</b>									
<b>RECETA</b>		<b>R- 125</b>							
85	Cloruro amónico	5							
	Nitrato de cobre	5							
	Amoniaco	20							
	Acido acético	10							
<b>En Frio</b>	Agua destilada	5							
<b>RECETA</b>		<b>R- 130</b>							
86	Cloruro amónico	3							
	Cloruro de cobre (II)	17							
	Agua destilada	100							
<b>En Frio</b>		0	0						

















				BRONCE	COBRE	LATON	ZINC	HIERRO	ALUMINIO
<b>RECETA</b>		<b>R- 131</b>							
87	Cloruro amónico	0,5							
	Acetato de cobre	0,5							
	Acido nítrico	2 gotas							
<b>En Frio</b>	Agua destilada	100							
<b>RECETA</b>		<b>R- 132</b>							
88	Cloruro amónico	4,5							
	Cloruro de cobre (II)	9							
	Agua destilada	100							
<b>Frio/Caliente</b>									
<b>RECETA</b>		<b>R- 133</b>							
89	Cloruro amónico	1							
	Nitrato de cobre	8							
	Cloruro sódico	3							
	Tartrato potásico	3							
	Agua destilada	12							
<b>En Frio</b>									
<b>RECETA</b>		<b>R- 100</b>							
90	Cloruro amónico	10							
	Amoniaco	2							
	Carbonato de cobre	10							
	Agua destilada	100							
<b>50°C</b>									
<b>RECETA</b>		<b>R- 102</b>							
91	Amoniaco	0,5							
	Sulfato de cobre	2,5							
	Agua destilada	100							
<b>Ebullición</b>									
<b>RECETA</b>		<b>R- 103</b>							
92	Sulfato de cobre	1,9							
	Acetato de cobre	2,5							
	Agua destilada	100							
<b>Caliente</b>									
<b>RECETA</b>		<b>R- 106</b>							
93	Sulfato de cobre	5							
	Clorato potásico	2							
	Permanganato potásico	0,5							
	Agua destilada	100							
<b>Caliente</b>									
<b>RECETA</b>		<b>R- 107</b>							
94	Sulfato de cobre	2,5							
	Sulfato de níquel	3,5							
	Permanganato potásico	0,5							
	Agua destilada	100							
<b>Caliente</b>									
<b>RECETA</b>		<b>R- 108</b>							
95	Sulfato de cobre	2,5							
	Sulfato de níquel	6,5							
	Clorato potásico	5							
	Agua destilada	100							
<b>Caliente</b>									
<b>RECETA</b>		<b>R- 109</b>							
96	Acido nítrico (25%)	43							
	Nitrato de bismuto	7							
	Agua destilada	100							
<b>En frío</b>									
<b>RECETA</b>		<b>R- 110</b>							
97	Nitrato de níquel	5							
	Tiosulfato sódico	5							
	Agua destilada	100							
<b>Caliente</b>									
<b>RECETA</b>		<b>R- 112</b>							
98	Carbonato de cobre	3							
	Dicromato potásico	3							
	Agua destilada	100							
<b>Caliente</b>									
<b>RECETA</b>		<b>R- 114</b>							
99	Nitrato férrico	5,2							
	Tiosulfato sódico	0,7							
	Agua destilada	100							
<b>Caliente</b>									













				BRONCE	COBRE	LATON	ZINC	HIERRO	ALUMINIO
<b>RECETA</b>		<b>R- 134</b>							
100	Cloruro amónico	4							
	Carbonato de cobre	4							
	Cloruro cálcico	4							
<b>En Frío</b>	Agua destilada	100							
<b>RECETA</b>		<b>R- 135</b>							
101	Cloruro amónico	4,5							
	Carbonato de cobre	0,5							
	Amoniaco	0,5							
	Cloruro sódico	0,5							
<b>En Frío</b>	Vinagre	100							
	Agua destilada	15 gotas							
<b>RECETA</b>		<b>R- 138</b>							
102	Cloruro amónico	8							
	Amoniaco	8							
	Cloruro sódico	8							
<b>En Frío</b>	Agua destilada	20							
<b>RECETA</b>		<b>R- 137</b>							
103	Cloruro amónico	1							
	Nitrato de cobre	1							
	Cloruro Cálcico	1							
<b>En Frío</b>	Agua destilada	32							
<b>RECETA</b>		<b>R- 136</b>							
104	Cloruro amónico	5							
	Amoniaco	4							
	Cloruro sódico	5							
<b>En Frío</b>	Acido acético	4							
	Agua destilada	32							
<b>RECETA</b>	<b>Solución A</b>	<b>R- 140</b>							
105	Cloruro amónico	12,5							
	Amoniaco	7,5							
	Agua destilada	50							
	<b>Solución B</b>	0							
	Cloruro amónico	2,5							
<b>En Frío</b>	Amoniaco	2,5							
	Vinagre	50							
<b>RECETA</b>		<b>R- 142</b>							
106	Cloruro amónico	10							
	Acetato de cobre	15							
<b>En Frío</b>	Vinagre	Pasta							
<b>RECETA</b>		<b>R- 144</b>							
107	Cloruro amónico	1							
	Nitrato de cobre	6							
	Amoniaco	12							
<b>En Frío</b>	Cloruro sódico	6							
	Carbonato potásico	3							
<b>RECETA</b>		<b>R- 145</b>							
108	Amoniaco	50							
	Carbonato de cobre	6,2							
	Carbonato sódico*	3,1							
<b>En Frío</b>	Agua destilada	25							
<b>RECETA</b>		<b>R- 146</b>							
109	Cloruro amónico	3							
	Amoniaco	3							
	Cloruro sódico	3							
<b>En Frío</b>	Vinagre	100							
<b>RECETA</b>		<b>R- 148</b>							
110	Cloruro amónico	4							
	Carbonato amónico	12							
<b>En Frío</b>	Agua destilada	100							
<b>RECETA</b>		<b>R- 150</b>							
111	Cloruro amónico	12							
	Oxalato potásico	4							
	Acido oxálico	1							
<b>En Frío</b>	Vinagre	100							












				BRONCE	COBRE	LATON	ZINC	HIERRO	ALUMINIO
RECETA 112	Cloruro amónico Carbonato de cobre Agua destilada	R- 151	7,7 3,9 100						
En Frío									
RECETA 113	Cloruro amónico Cloruro de cobre Bicarbonato potásico* Agua destilada	R- 154	8 2,5 2 50						
En Frío									
RECETA 114	Nitrato de cobre Agua destilada	R- 156	6 100						
Caliente									
RECETA 115	Nitrato de cobre Amoniaco Agua destilada	R- 157	6 1 100						
Caliente									
RECETA 116	Cloruro amónico Carbonato de cobre Acetato de cobre Vinagre	R- 158	6 10 6 100						
En Frío									
RECETA 117	Cloruro amónico Acetato de cobre Acido nítrico Agua destilada	R- 159	3 1,5 1 100						
En Frío									
RECETA 118	Cloruro amónico Sulfato de cobre Cloruro de cobre Agua destilada	R- 160	6 3 18 100						
F/C									
RECETA 119	Cloruro amónico Amoniaco Cloruro de sodio Vinagre	R- 162	26 1,5 26 100						
En Frío									
RECETA 120	Nitrato de cobre Acido nítrico Agua destilada	R- 163	10 4 100						
Caliente									
RECETA 121	Nitrato de cobre Cloruro de zinc Agua destilada	R- 165	3 3 Pasta						
En frío									
RECETA 122 (A)	Nitrato de cobre Agua destilada	R- 169	2,4 100						
122 (B)	Ferrocianuro potásico	Sol. Saturada							
Caliente									
RECETA 123	Nitrato de cobre Agua destilada	R- 170	2 100						
Caliente									

				BRONCE	COBRE	LATON	ZINC	HIERRO	ALUMINIO
<b>RECETA</b> 124 (A)	Nitrato de cobre	R- 171	2						
	Agua destilada		100						
<b>Caliente</b> 124 (B)	Nitrato férrico		0,5						
	Agua destilada		100						
<b>Caliente</b>									
<b>RECETA</b> 125	Nitrato de cobre	R- 172	8						
	Agua destilada		100						
<b>Caliente</b>									
<b>RECETA</b> 126	Nitrato de cobre	R- 173	4						
	Nitrato férrico		2						
	Sulfuro de potasio		0,5						
<b>Caliente</b>	Agua destilada		100						
<b>RECETA</b> 127	Nitrato de cobre	R- 174	5						
	Acido nítrico		2						
	Agua destilada		100						
<b>Caliente</b>									
<b>RECETA</b> 128	Nitrato de cobre	R- 175	5						
	Acido clorhídrico		3						
	Agua destilada		100						
<b>Caliente</b>									
<b>RECETA</b> 129	Amoniaco	R- 176	40						
	Cloruro de sodio		10						
	Vinagre		40						
<b>En Frio</b>	Jugo de limón		10						
<b>RECETA</b> 130	Amoniaco	R- 177	15						
	Sulfuro de potasio		2						
	Sulfuro de Bario		7						
<b>En Frio</b>									
<b>RECETA</b> 131	Cloruro amónico	R- 183	1,6						
	Amoniaco		2,6						
	Carbonato de cobre		2,5						
	Cloruro de sodio		1,6						
<b>En frio</b>	Vinagre		100						
<b>RECETA</b> 132	Amoniaco	R- 181	5 gotas						
	Sulfato de cobre		12						
	Carbonato de cobre		12						
<b>En Frio</b>	Acetato de cobre		12						
<b>RECETA</b> 133	Sulfato de cobre	R- 183	0,625						
	Cloruro de sodio		0,2						
	Acetato de cobre		0,125						
	Acido acético (6%)		100						
<b>Ebullición</b>									
<b>RECETA</b> 134	Cloruro férrico	R- 186	9,5						
	Agua destilada		100						
<b>En Frio</b>									

				BRONCE	COBRE	LATON	ZINC	HIERRO	ALUMINIO
RECETA 135	Nitrato férrico Tiosulfato sódico Agua destilada	R- 189	6 0,75 100						
En Frio									
RECETA 136	Cloruro de cobre Agua destilada	R- 193	5 100						
En Frio									
RECETA 137	Cloruro férrico Agua destilada	R- 194	50 100						
En Frio									
RECETA 138	Cloruro de cobre Agua destilada	R- 199	10 100						
En Frio									
RECETA 139	Ferrocianuro potásico Agua destilada	R- 200	0,8 a 1,6(1,2) 100						
Caliente									
RECETA 140	Pátina Base Nitrato de cobre Agua destilada	R- 1	6,3 ml. de sólido 100						
Caliente									
RECETA 141	Pátina Base Nitrato férrico Agua destilada	R- 2	1 ml. de sólido 100						
Caliente									
RECETA 144	Sulfato de cobre Cloruro de sodio Agua destilada	R- 5	1,5 ml. de sólido 3,2 ml. de sólido 100						
70-90°C									
RECETA 145	Nitrato de Bismuto Dióxido de titanio Silice coloidal Agua destilada	R- 6	5,4 gr. 5,4 gr. 0,8 g. 100						
Caliente									
RECETA 150	Cloruro amónico Sulfato de cobre Agua destilada	R- 301	10 0 100						
Caliente									
RECETA 151	Amoniaco Sulfuro de potasio Agua destilada	R- 302	10 12,5 100						
En Frio									
RECETA 152	Hidróxido sódico Persulfato potásico Agua destilada	R- 303	2,5 1 100						
Caliente									









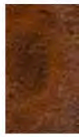

			BRONCE	COBRE	LATON	ZINC	HIERRO	ALUMINIO
RECETA 153	Acido acético Hidróxido sódico Persulfato potásico Agua destilada	R- 305 3,5(10%) 2,5 1 100						
Caliente								
RECETA 154	Sulfato de cobre Amoniaco Sulfato amónico Agua destilada	R- 306 0,35 0,2 (.88) 10,5 100						
En Frio								
RECETA 155	Nitrato de cobre Acido nítrico Agua destilada	R- 309 10 4 (70%) 100						
0								
RECETA 156	Nitrato de cobre Agua destilada	R- 310 20 100						
RECETA 157	Cloruro amónico Sulfuro de potasio Agua destilada	R- 312 1 1 100						
Caliente								
RECETA 158	Hidróxido sódico Trisulfuro de antimonio Agua destilada	R- 314 4 1,5 100						
Caliente								
RECETA 159	Sulfato de cobre Amoniaco Agua destilada	R- 315 2,5 0,5 100						
En Frio								
RECETA 160	Hidróxido sódico Persulfato potásico Agua destilada	R- 322 2,5 1 100						
Ebullición								
RECETA 161	Trisulfuro de antimonio Oxido férrico Sulfuro amónico	R- 330 30 10 pasta						
En Frio								
RECETA 162	Amoniaco Sulfuro de potasio Trisulfuro de antimonio Oxido férrico	R- 331 2 (0.88) 2 20 20						
En Frio								
RECETA 163	Amoniaco Sulfuro de potasio	R- 332 1-2 (.88)Pasta 10						
Caliente Con tra								
RECETA 164	Nitrato férrico Agua destilada	R- 345 1 100						
Caliente								

	BRONCE	COBRE	LATON	ZINC	HIERRO	ALUMINIO
<b>RECETA</b> <b>165</b> Acetato de cobre 2,5 Acido acético 100 (6%) Bicarbonato amónico 5 <b>Ebullición</b>						
<b>RECETA</b> <b>166</b> Cloruro amónico 3 Sulfuro de potasio 2 Trisulfuro de antimonio 2 Oxido férrico 2 <b>Caliente</b>						
<b>RECETA</b> <b>167</b> Cloruro amónico 2 Nitrato de cobre 2 Hiposulfito cálcico 2 Agua destilada 100 <b>En Frio</b>						
<b>RECETA</b> <b>168</b> Sulfato de cobre 20 Cloruro amónico 10 Acido acético h. Pasta Oxido de cobre 20 <b>En Frio</b>						
<b>RECETA</b> <b>169</b> Nitrato de cobre 30 Cloruro de cinc 30 Agua destilada h. pasta <b>En Frio</b>						
<b>RECETA</b> <b>170</b> Cloruro amónico 4 Cloruro de sodio 4 Bicarbonato amónico 12 Agua destilada 100 <b>En Frio</b>						
<b>RECETA</b> <b>171</b> Sulfato de cobre 6 Cloruro de sodio 6 Acido acético h. pasta Bicarbonato amónico 24 <b>En Frio</b>						
<b>RECETA</b> <b>172</b> Cloruro amónico 4 Nitrato de cobre 20 Cloruro de sodio 16 Tartrato de Potasio 12 <b>En Frio</b>						
<b>RECETA</b> <b>173</b> Nitrato de cobre 15 Cloruro férrico 0,5 Nitrato de zinc 15 Peróxido de hidrógeno h. pasta <b>En Frio</b>						
<b>RECETA</b> <b>174</b> Nitrato de cobre 10 Acetato de cobre 1 (35%) Agua destilada 100 <b>Caliente</b>						
<b>RECETA</b> <b>200</b> Nitrato de Bismuto 9 Agua destilada 100 <b>Caliente</b>						
<b>RECETA</b> <b>201</b> Acido nítrico 0,75 Hidróxido sódico 6,5 Dicromato sódico 1 Agua destilada 100 <b>Ebullición</b>						

				BRONCE	COBRE	LATON	ZINC	HIERRO	ALUMINIO
<b>RECETA</b> 202	Hidróxido sódico Nitrato potásico Agua destilada	R- 386	60 23 100						
<b>RECETA</b> 203	Acido nítrico Hidróxido sódico Dicromato sódico En Frio Agua destilada	R- 387	0,75 6,5 1 100						
<b>RECETA</b> 204	Sulfato de cobre Acido nítrico Metanol En Frio	R- 388	20 40 100						
<b>RECETA</b> 205	Carbonato de cobre Carbonato de sodio Bicarbonato amónico En frio Agua destilada	R- 389	0,64 0,09 0,36 100						
<b>RECETA</b> 206	Sulfato de cobre Acido nítrico Etanol En Frio Agua destilada	R- 390	6,4 12 16 100						
<b>RECETA</b> 207	Carbonato de cobre Carbonato de sodio Bicarbonato amónico En Frio Agua destilada	R- 391	0,64 0,09 0,36 100						
<b>RECETA</b> 208	Clorato potásico Cloruro de mercurio Acido clorhídrico Etanol En Frio Agua destilada	R- 392	3,5 5 25 10 100						
<b>RECETA</b> 209	Cloruro amónico Sulfuro de potasio Agua bdestilada Caliente	R- 393	18 1,3 100						
<b>RECETA</b> 210	Acido nítrico Sulfito sódico Agua destilada Caliente	R- 393	0,36 5,4 100						
<b>RECETA</b> 211	Sulfato de cobre Carbonato de cobre Agua destilada Caliente	R- 395	12,9 12,9 100						
<b>RECETA</b> 212	Cloruro amónico Amoniaco Cloruro sódico Acido acético Sol. Caliente Agua destilada	R- 396	0,5 0,4 0,5 0,4 100						

		BRONCE	COBRE	LATON	ZINC	HIERRO	ALUMINIO
<b>RECETA</b>		R- 400 y 401					
213	Cloruro amónico						
<b>Sol. A</b>	Nitrato de cobre						
	Sulfato de cobre						
	Cloruro cálcico						
<b>Caliente</b>	Agua destilada						
<b>Sol. B</b>	Acido nítrico						
<b>En Frío</b>	Agua destilada						
<b>RECETA</b>		R- 405					
215	Sulfato de cobre						
	Acido nítrico						
	Perclorato de hierro						
<b>En Frío</b>	Agua destilada						
<b>RECETA</b>		R- 406					
216	Sulfato de cobre						
	Acido nítrico						
	Acido clorhídrico						
<b>En Frío</b>	Agua destilada						
<b>RECETA</b>		R- 407					
217	Sulfato de cobre						
	Cloruro de hierro III						
	Acido nítrico						
	Cloruro de mercurio						
<b>En Frío</b>	Metanol						
<b>RECETA</b>		R- 408					
218	Hidróxido sódico						
	Trisulfuro de antimonio						
	Bicarbonato amónico						
<b>Sol. Caliente</b>	Agua destilada						
<b>RECETA</b>		R- 409					
219	Nitrato de hierro						
	Tiosulfato sódico						
<b>Sol. Caliente</b>	Agua destilada						
<b>RECETA</b>		R- 410					
220	Amoniaco						
	Sulfuro potásico						
<b>Amoniaco</b>	Agua destilada						
<b>RECETA</b>		R- 415					
221	Nitrato de hierro						
	Tiosulfato sódico						
<b>Ebullición</b>	Agua destilada						
<b>RECETA</b>		R- 420					
222	Cloruro amónico						
	Cloruro de cobre						
<b>Hervir sol. P.</b>	Agua destilada						
<b>RECETA</b>		R- 421					
223	Nitrato de cobre						
	Agua destilada						
<b>M. Caliente</b>							
<b>RECETA</b>		R- 422					
224	Cloruro amónico						
	Acetato de cobre						
<b>Sol. Caliente</b>	Agua destilada						
<b>RECETA</b>		R- 423					
225	Cloruro amónico						
	Nitrato de cobre						
	Cloruro cálcico						
<b>Sol. Caliente</b>	Agua destilada						

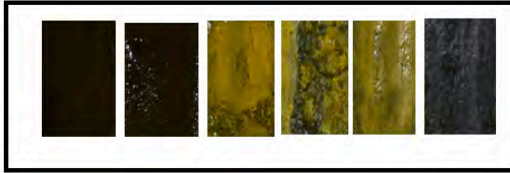
				BRONCE	COBRE	LATON	ZINC	HIERRO	ALUMINIO
<b>RECETA</b> 226	Cloruro amónico Sulfato de cobre Agua destilada	R- 424	0,9 5,3 100						
<b>Sol. Caliente</b>									
<b>RECETA</b> 227	Cloruro amónico Sulfato de cobre Agua destilada	R- 425	7,3 1,2 100						
<b>Sol. y M. Cal.</b>									
<b>RECETA</b> 228	Cloruro amónico Amoniaco Cloruro sódico Acido acético Agua destilada	R- 426	0,5 0,5 0,5 0,5 100						
<b>Sol. Caliente</b>									
<b>RECETA</b> 229	Cloruro amónico Nitrato de cobre Cloruro cálcico Agua destilada	R- 427	0,1 0,1 0,1 100						
<b>Sol. Caliente</b>									
<b>RECETA</b> 230	Dicromato potásico Dicromato sódico Agua destilada	R- 430	1 1 100						
<b>En frío</b>									
<b>RECETA</b> 231	Acido oxálico Agua destilada Sulfuro sódico	R- 431	1. Sol. 10% 2. lavar 3. Sol. 1%						
<b>En frío</b>									
<b>RECETA</b> 232	Dicromato potásico Acido sulfúrico Agua destilada	R- 432	25 90 100						
<b>Caliente</b>									
<b>RECETA</b> 240	Sulfato de cobre Chatarra de cinc Agua destilada	R- 444	3 23,2 100						
<b>Ebullición</b>									
<b>RECETA</b> 241	Sulfato de cobre Acido clorhídrico Cloruro de Zinc Agua destilada	R- 445	1,2 0,75 12 100						
<b>Caliente</b>									
<b>RECETA</b> 242	Nitrato de cobre Acido nítrico Permanganato potásico Agua destilada	R- 446	2,5 0,4 1 100						
<b>Caliente</b>									
<b>RECETA</b> 243	Cloruro de hierro Ferricianuro potásico Agua destilada	R- 450	45,7 45,7 100						
<b>65 °C</b>									
<b>RECETA</b> 245	Cloruro de hierro Ferrocianuro potásico Agua destilada	R- 460	45,7 45,7 100						
<b>En frío</b>									
<b>RECETA</b> 246	Sulfato de cobre Cloruro potásico Agua destilada	R- 461	5 5 100						
<b>Caliente</b>									

		BRONCE	COBRE	LATON	ZINC	HIERRO	ALUMINIO
RECETA 247	Sulfato de cobre Acido nítrico Agua destilada	R- 462	0,25 0,75 100				 ESTANO
RECETA 450	Nitrato de níquel Hidróxido de sodio Agua destilada	R- Nueva	10 3,05 100				
En frío							
RECETA 451	Acido clorhídrico Amoníaco (30%) Ferrocianuro potásico Agua destilada	R- Nueva	6,75 5,2 19,5 100				
En frío							
RECETA 452	Cloruro de bario Acido sulfúrico Agua destilada	R- Nueva	10 4,7 100				
En frío							
RECETA 453	Cloruro de bario Acido sulfúrico Agua destilada	R- Nueva	10 4,7 100				
En caliente							
RECETA 454	Cloruro de Bario Acido clorhídrico Agua destilada	R- Nueva	14,7 1 gota 50				
Sol. A							
Sol. B	Sulfato sódico Agua destilada		10 50				
En frío							
RECETA 455	Acido sulfúrico Agua destilada	R- Nueva	5 50				
Sol. A							
Sol. B	Cloruro de Bario Acido clorhídrico Agua destilada		5 1 gota 50				
En frío							
RECETA 456	Acido clorhídrico Agua destilada	R- Nueva	2 10				
Sol. A							
Sol. B	Bicarbonato sódico Agua destilada		4,6 100				
En frío							
RECETA 458	Acido clorhídrico Agua destilada	R- Nueva	0,54 10				
Sol. A							
Sol. B	Acido oxálico Hidróxido sódico Agua destilada		2 1,78 10				
En frío							
RECETA 458b	Cloruro férrico Agua destilada	R- Nueva	2 10				
Sol. A							
Sol. B	Acido oxálico Hidróxido sódico Agua destilada		2 1,78 10				
En frío							

<b>RECETA</b>		<b>R- Nueva</b>
459		
<b>Sol. A</b>	Cloruro de cadmio	1
	Acido clorhídrico	2 gotas
	Agua destilada	10
<b>Sol. B</b>	Cromato de sodio	0,88
	Agua destilada	10
<b>En frío</b>		



<b>RECETA</b>		<b>R- Nueva</b>
460		
<b>Sol. A</b>	Cloruro de Cadmio	1
	Acido clorhídrico	2 gotas
	Agua destilada	10
<b>Sol. B</b>	Sulfuro potásico	0,88
	Agua destilada	10
<b>En frío</b>		



<b>RECETA</b>		<b>R- Nueva</b>
460b		
<b>Sol. A</b>	Cloruro de cadmio	1
	Acido clorhídrico	2 gotas
	Agua destilada	10
<b>Sol. B</b>	Cromato de sodio	0,88
	Agua destilada	10
<b>En frío</b>		



<b>RECETA</b>		<b>R- Nueva</b>
463		
<b>Sol. A</b>	Aspirina	2
	Acido clorhídrico	2 gotas
	Agua destilada	10
<b>Sol. B</b>	Sulfato ferroamónico	1
	Agua destilada	10
<b>En frío</b>		



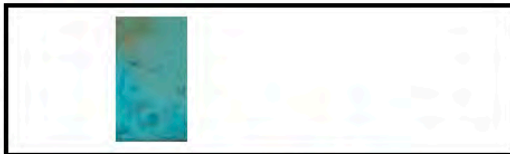
<b>RECETA</b>		<b>R- Nueva</b>
464		
<b>Sol. A</b>	Oxido de plomo	1
	Acido nítrico	2 gotas
	Agua destilada	10
<b>Sol. B</b>	Sulfuro potásico	0,88
	Agua destilada	10
<b>En frío</b>		



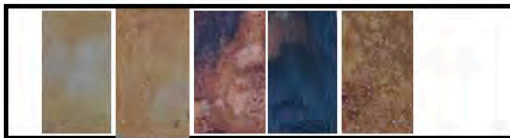
<b>RECETA</b>		<b>R- Nueva</b>
465		
<b>Sol. A</b>	Cloruro cuproso	2
	Acido clorhídrico	3 gotas
<b>Sol. B</b>	Hidróxido sódico	0,5
	Agua destilada	10
<b>Calentamiento al rojo</b>		



<b>RECETA</b>		<b>R- Nueva</b>
466		
<b>Sol. A</b>	Acido clorhídrico	2
	Agua destilada	10
<b>Sol. B</b>	Acido oxálico	4,6
	Agua destilada	100
<b>En frío</b>		



<b>RECETA</b>		<b>R- Nueva</b>
466*		
<b>Sol. A</b>	Aspirina	2
	Acido clorhídrico	2 gotas
	Agua destilada	20
	Cloruro Férrico (30%)	2
<b>En frío</b>		



RECETA		R- Nueva
467		
Sol. A	Acido clorhídrico	2
	Agua destilada	10
-----		
Sol. B	Acido oxálico	4,6
	Agua destilada	100
	Amoniaco	2 gotas
En frío		



RECETA		R- Nueva
467b		
Sol. A	Acido clorhídrico	2
	Agua destilada	10
-----		
Sol. B	Amoniaco	2 gotas
	Agua destilada	100
En frío		



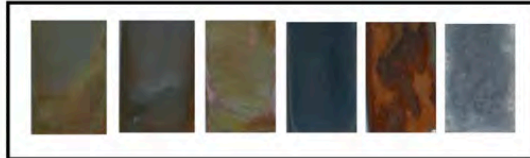
RECETA		R- Nueva
468		
	Acido clorhídrico	6,75
	Amoniaco (30%)	5,2
	Ferricianuro potásico	19,5
	Agua destilada	100
En frío		



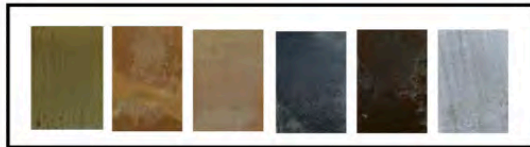
## RECETAS JAPONESAS.

BRONCE COBRE LATON ZINC HIERRO ALUMINIO

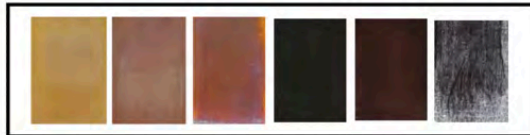
RECETA	ROKUSHO 1	R-	
R1	Acetato de cobre*	gr.	2,85
Parte A	Cloruro sódico	gr.	0,85
	Carbonato cálcico	gr.	1,7
	Agua destilada	cc	500
<b>Hacer al menos una vez</b>			
Parte B	Sulfato de cobre	gr.	5
	Agua destilada	cc	500
<b>En frío</b>			
<b>A+B = NIÑO / SIN VINAGRE / En Frío</b>			



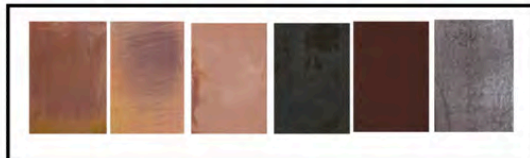
RECETA	ROKUSHO 1'	R-	
R1'	Acetato de cobre*	gr.	6
Parte A	Carbonato cálcico	gr.	2
	Cloruro sódico	gr.	1
	Agua destilada	cc	500
<b>Hacer al menos una vez</b>			
Parte B	Sulfato de cobre	gr.	5
	Agua destilada	cc	500
<b>En frío</b>			
<b>(SIN VINAGRE)</b>			



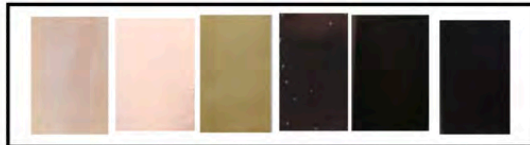
RECETA	ROKUSHO 2	R-	
R2	Acetato de cobre*	gr.	5
Parte A	Carbonato cálcico	gr.	5
	Agua destilada	cc	500
	<b>Hacer al menos una vez</b>		
Parte B	Sulfato de cobre	gr.	5
	Agua destilada	cc	500
Parte C	Vinagre de ciruela	cc	5
	<b>En frío</b>		
<b>A+B En Frío</b>			



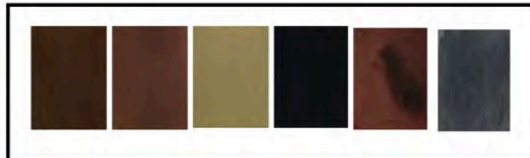
RECETA	ROKUSHO 1	R-	
R3	Acetato de cobre*	gr.	2,85
Parte A	Cloruro sódico	gr.	0,85
	Carbonato cálcico	gr.	1,7
	Agua destilada	cc	500
<b>Hacer al menos una vez</b>			
Parte B	Sulfato de cobre	gr.	5
	Agua destilada	cc	500
Parte C	Vinagre de ciruela	cc	5
	<b>En frío</b>		
<b>A+B NIÑO A 90°C</b>			



RECETA	ROKUSHO 4	R-	
R4	Acetato de cobre*	gr.	6
Parte A	Carbonato cálcico	gr.	2
	Hidróxido sódico	gr.	2
	Agua destilada	cc	150
Disolver en caliente y dejar reposar 1 semana.			
<b>Hacer al menos una vez</b>			
Parte B	Sulfato de cobre	gr.	2
	Agua destilada	cc	750
<b>En frío</b>			
<b>A+B A 37,7°C</b>			



RECETA	Nikoni Chakusoku	R-	
R5	Rokusho (Receta R2)	gr.	1,8
Parte A	Sulfato de cobre	gr.	1,2
	Sulfato Al y Hidratado	gr.	0,2
	Agua destilada	cc	1000
<b>Hacer al menos una vez</b>			
Parte B	Sulfato de cobre	gr.	5
	Bicarbonato sódico	gr.	5
Parte C	Daikon (rotar con un rábano blanco de composición alcalina)	gr.	5
	Vinagre de ciruela+NaCl(1%)	cc	5% de A+B
<b>En caliente</b>			
<b>A+B+C En Caliente &lt;90°C</b>			





## 7. CONCLUSIONES

En este epígrafe se recogen las principales conclusiones del trabajo de investigación aplicada a la generación de color sobre distintos soportes, objetivo principal de esta tesis. Sin embargo, consideramos que del análisis de los antecedentes del ser humano y de los metales que le han acompañado desde su existencia durante el Paleolítico Superior, se derivan también diversas conclusiones que no resaltarlas podrían dejar este epígrafe incompleto. Por ello, aunque sea brevemente, se destacan previamente algunas conclusiones relacionadas con estos antecedentes, que incluyen la Alquimia y sus fundamentos teóricos que han evolucionado desde métodos empíricos amparados en pensamientos filosóficos y místicos hacia un sistema basado en la experimentación. Así nació, a partir del siglo XVII, el método científico que ha conducido al conocimiento de la esencia de la materia y a poder predecir su comportamiento. Este conocimiento constituye el fundamento para la formulación de recetas químicas para generar color en prácticamente cualquier tipo de soporte, sin necesidad de utilizar pigmentos convencionales.

Conviene resaltar la diferencia existente entre pintura y pátina: la pintura está constituida por pigmento y aglutinante depositado sobre un soporte, sin que exista reacción química entre ellos; la pátina es el resultado de reacciones redox entre productos químicos [receta] y un soporte metálico, no siendo posible su eliminación sin dañar el soporte.

El color ha estado siempre íntimamente unido a la materia, que con gran frecuencia contiene elementos metálicos. Las manos estarcidas con uso de color en la Cueva de Maltravieso (Cáceres), posiblemente la de mayor antigüedad, con datación reciente de 64.000 años; pinturas rupestres, como las que Altamira, que el ser humano realizó hace más de 15.000 años, demuestran que ya tenía en esas fechas capacidad de abstracción y de representación de su pensamiento. Pero no consta que con anterioridad al periodo 5000 a.C-3500 a.C. tuviera capacidad de transmitir conocimientos dejando constancia de ellos -al margen de las manos estarcidas y de las pinturas rupestres- ya que los primeros grafismos aparecen en cerámica coloreada china y en signos cuneiformes sobre tablillas de arcilla, que son los primeros elementos que pueden interpretarse como escritura incipiente, que supuso un salto disruptivo desde la Prehistoria a la Historia.

Existen evidencias que el ser humano primitivo conoció unos pocos metales. En China, donde se rindió culto al número cinco, conocieron este número de metales (oro, plata, plomo, cobre y hierro) porque era nativos o procedían de meteoritos. En la cultura mesopotámica el culto fue al siete, y siete fueron los metales que conocieron y que los identificaban con los planetas: el oro con el Sol, la plata con la Luna, el cobre con Venus, el hierro con Marte, el estaño con Júpiter, el plomo con Saturno y el mercurio con Mercurio, permaneciendo esta creencia hasta el siglo XVI, pensando incluso que no podría haber más metales, y los que fueron descubriendo los justificaron como variaciones de las cualidades de los ya conocidos.

A raíz de la invención de la escritura, los primeros relatores trataron de reflejar el pasado más lejano que oyeron de boca de sus antepasados. En este contexto aparecen los cinco libros del Pentateuco, del que forma parte el Génesis, en el que se refleja una historia que se inicia con la creación del universo, la de Adán y Eva, y el Paraíso terrenal, relatando datos precisos de sus descendientes, a los que asignaron edades de varios cientos de años, concretamente 930 años para el supuesto primer hombre, y el haber sido creado por Dios. Los datos del Génesis nos han permitido:

- Evaluar la fecha de nacimiento de Adán, el primer hombre para su relator, que habría tenido lugar en torno al año 4000 a.C.
- Constatar la cita sobre la existencia de dos árboles en el Jardín del Edén: el árbol de la ciencia del bien y del mal, y el árbol de la vida, cuyas hojas- dicen- curaban las enfermedades.
- Existencia, siempre según el Génesis, de un diluvio de cuarenta días y cuarenta noches, que con los datos disponibles permiten ubicarlo en el año 2366 a.C.
- Previo al diluvio, el grupo formado por Noé y su familia construyeron un arca para salvarse, junto a parejas de animales y aves machos y hembras. Este diluvio, según el relato, exterminó a los seres humanos que no subieron al Arca. En consecuencia, a partir de entonces la reproducción tendría que haberse producido solo entre los miembros de una misma familia, lo que habría provocado, según los conocimientos científicos actuales, un *cuello de botella génico*, que afecta, entre otros factores, a una disminución de la longevidad. De hecho, se constata en el Génesis que las edades reportada en el relato bíblico caen muy rápidamente tras el diluvio, llegando incluso a manifestarse que la edad del hombre será de 120 años.

La existencia del árbol de la ciencia y del árbol de la vida constituye, a nuestro juicio, el fundamento primigenio de la Alquimia, que tuvo un objetivo fundamental: conseguir la Piedra Filosofal para, por un lado, tomarla como medio de alcanzar la sabiduría y, por otro, la inmortalidad (que Roger Bacon ya en el s. XIII cambió a longevidad). Todo ello, a través de la oración y el trabajo de laboratorio:

- Los metales fueron considerados embriones inmaduros vivos, al igual que ocurre en los reinos vegetal y animal, pero que necesitan madurar al calor de la Tierra durante muchos años, y que con el transcurso del tiempo acabarían siendo oro, el metal de mayor madurez. El Alquimista creyó que lo que supuestamente hacía la Tierra de modo natural, aunque muy lentamente, puede acelerarse con procesos de laboratorio.
- La demostración de haber llegado a la Piedra Filosofal era fermentarla para hacer el denominado polvo de proyección, que echado en un metal inmaduro fundido, lo transmutaría a oro.

- La convicción de que la Piedra Filosofal permitía hacer la transmutación de los metales, alimentó a los poderosos y a los sacerdotes a monopolizar la práctica de la Alquimia, prohibiendo su práctica a terceros -incluso con la pena de muerte-. Estas prohibiciones alimentaron el ocultismo desde épocas muy tempranas, por lo que la Alquimia ha resultado siempre una actividad hermética, llena de simbología para dificultar su práctica y transmisión de su conocimiento.
- Los alquimistas y arquimistas, frustrados por no conseguir su objetivo, encontraron su recompensa con la venta de productos a los que llegaron por métodos empíricos: tintes, vidrios coloreados, productos químicos cuya composición ignoraban, aunque los reconocían por su color, olor o sabor. Controlaron la fusión de metales, la formulación de aleaciones, y la aplicación de color a los metales, como el cobre y sus aleaciones, desde épocas muy tempranas.

La Alquimia, a través de los árabes, llega a ser estudiada en Europa, donde resurgen las ideas del átomo defendidas por los filósofos griegos que se basaban en encontrar soluciones para explicar los fenómenos naturales solo con la inteligencia, sin recurrir a la experimentación. Así, en los siglos III y IV a.C. Leucipo y Demócrito hablan de la discontinuidad de la materia con espacios vacíos (ser y no ser); Aristóteles defiende la teoría de los cuatro elementos (tierra, aire, fuego y agua), que aceptaba la posibilidad de la conversión entre sus elementos; Estratón de Lampsaco (340-268 a.C.) admitía también la existencia del átomo, pero defendía que la materia es divisible hasta el infinito y que existían intervalos de vacío.

Fue el Alquimista británico Robert Boyle, ya en el siglo XVII, quien inicia el **método científico**, íntegramente basado en la experimentación, que condujo a un crecimiento espectacular de descubrimientos en todos los campos de las ciencias, y en particular del conocimiento de la materia a través del átomo:

- El desarrollo moderno de teorías sobre el átomo condujo a Rutherford (Premio Nobel de Química en 1908 por el descubrimiento de la desintegración de la materia por su radioactividad) a hacer realidad la transmutación de los elementos por bombardeo de Nitrógeno ( $Z= 17$ ) gaseoso con radiaciones alfa para producir átomos de Oxígeno ( $Z = 16$ ) al eliminar un protón de su núcleo. En consecuencia, el objetivo de la Alquimia de transmutación de la materia dejó de ser una entelequia. Posteriormente, Glenn T. Seaborg consigue el Premio Nobel de Química en 1951 por los trabajos que le condujeron a arrancar tres protones a un átomo de Plomo ( $Z = 82$ ) para transmutarlo a un átomo – aunque inestable - de Oro ( $Z = 79$ ).
- En 1923, Robert Millikan recibe el Premio Nobel de Física por la cuantificación de la carga y masa del electrón y por descubrir el efecto fotoeléctrico, lo que facilitó el descubrimiento posterior del protón, neutrón y positrón como partículas fundamentales de la estructura del átomo. Se confirma el movimiento de electrones dentro del átomo cuando se le aporta energía, devolviendo la energía

aportada en forma de haz luminoso cuando cesa dicha aportación, formulándose la teoría del color. La movilidad de los electrones justifica también la formación de enlaces entre átomos para formar moléculas más estables, y se descubre la movilidad de los electrones en los metales, en los electrolitos, y en las reacciones químicas, quedando establecido el mecanismo redox en las reacciones químicas en relación a pérdidas (oxidación) y ganancia (reducción) de electrones.

- El avance científico impulsa el descubrimiento de numerosos elementos químicos nuevos y la elaboración, por Medelejev entre otros, del Sistema Periódico de los elementos en la segunda mitad del siglo XIX, ordenando los elementos entonces conocidos y llegando a predecir las propiedades de los aún desconocidos, reservándoles incluso un lugar en su Tabla Periódica. En la actualidad se conocen 118 elementos químicos, de los cuales 96 son metales, de los que cuatro son líquidos en condiciones normales (Mercurio, Cesio, Galio y Francio).
- En 1836/39, John F. Daniell sentó las bases que permitieron un significativo avance de la Electroquímica, permitiendo a Hermann W. Nernst, Premio Nobel de Química en 1920, establecer el procedimiento de cálculo del Potencial Normal de Electrodo, de enorme utilidad en diversos campos, particularmente de las reacciones químicas/electroquímicas, pilar teórico fundamental que respaldar el contenido de esta tesis, ya que la aplicación de color a un metal no es otra cosa que producir reacciones de oxidación y reducción en los átomos del metal al que se pretende dar color.

Estas reacciones están provocadas por minúsculas pilas galvánicas a nivel molecular u atómico. El potencial de electrodo permite cuantificar la diferencia de potencial que debe aplicarse a la interfase metal-receta química para desplazar las reacciones químicas en uno u otro sentido, lo que supone una importante herramienta para controlar el comportamiento de la materia. Una aplicación directa del concepto de potencial normal de electrodo es el desplazamiento que tiene lugar de los iones de un metal en una solución de una sal por la presencia de otro ion metálico que tenga menor valor de su potencial normal de electrodo, es decir, que esté situado por encima en la Tabla 6 de Potenciales. Así, el orden  $Al^{+++}(-1,66V) < Zn^{++}(-0,76V) < Fe^{++}(-0,44V) < Pb^{++}(-0,13V) < Cu^{++}(+0,52) < Fe^{+++}(+0,77V)$ , de menor a mayor potencial normal implica, por ejemplo, que si el Zinc entra en contacto con una solución de sulfato de cobre, al ser desplazado el ion  $Cu^{++}$  por el ion  $Zn^{++}$  en la lista anterior, se depositará espontáneamente cobre y se producirá sulfato de zinc en solución. Sin embargo, al poner una solución de sulfato de zinc en contacto con cobre no tendrá lugar reacción alguna de sustitución, salvo que se aplique una diferencia de potencial superior a 1,28 V [ $+0,52 - (-0,76)$ , según la Tabla 6] para revertir el proceso espontáneo anteriormente descrito. En definitiva, se trata de una electrodeposición de metal (EDM), de la que Brugnatelli fue pionero, junto a las importantes aportaciones y descubrimientos de Volta, Jacobi, Spenser y Faraday en la primera mitad del siglo XIX.

- Los Diagramas de Pourbaix, publicados en 1973, constituyen un elemento muy útil para predecir el comportamiento de las reacciones redox de especies químicas en

solución acuosa y la estabilidad de los productos de reacción en base a dos parámetros que pueden fácilmente controlarse: el potencial normal de electrodo y el pH, que forman parte esencial en la formulación de recetas para dar color a los metales.

Sobre este conjunto de antecedentes y fundamentos teóricos se ha planteado la investigación aplicada para generar color a partir de una selección de metales y aleaciones habituales en la elaboración de obra plástica: Bronce, Cobre, Latón, Zinc, Hierro y Aluminio, llegándose a las siguientes conclusiones:

### **Primera**

La aplicación de pátinas a metales para generar color son reacciones de tipo redox, a nivel molecular / atómico, cuyos mecanismos se regulan a través de:

- Potencial Normal de Electrodo (PNE) como magnitud fundamental para predecir el sentido de las reacciones químicas, espontáneas o forzadas, en las microceldas electrolíticas que supone el simple contacto físico entre la superficie del metal y los iones resultantes de la hidrólisis de las sales.
- Diagramas de Pourbaix que representan el equilibrio de fases entre especies químicas hidrolizadas en función de PNE y pH.
- Temperatura, como magnitud que aumenta la velocidad de las reacciones químicas.
- Formación, en su caso, de compuestos de coordinación [complejos] que se construyen en torno a cationes de metales pesados.
- El color depende del sistema de cristalización de las sales que se forman como productos de reacción, y también del número de moléculas de agua ocluida.

### **Segunda**

Para investigar el comportamiento de los metales frente a distintas recetas químicas se han formulado y preparado:

- Más de 236 recetas químicas, de las que 208 se han seleccionado entre las recetas históricas que aparecen en la bibliografía, 6 corresponden a recetas tradicionales japonesas y 22 son de nueva formulación en base al respaldo conceptual que aporta la Ciencia Química para conseguir colores. Se revela importante proceder a la formulación de recetas teniendo en cuenta la estequiometría de las reacciones redox que tienen lugar cuando una solución acuosa -con múltiples especies- entran en contacto con un metal determinado.
- Todas las recetas se han aplicado a más de 1500 probetas, repartidas entre: chapas de meta (1.100), probetas de madera (250) y probetas de diversos tejidos (150 entre fibras vegetales de lino y algodón, y sintética). La mayoría de las recetas se han aplicado a distintos metales para comprobar el color, su adherencia y la estabilidad de los productos de reacciones que se generan.

- Se han desarrollado procedimientos específicos para aplicar a las probetas de madera y de tejidos, naturales y sintéticos, una capa superficial de polvo de metal: a) por adición de una masa heterogénea que contiene el polvo de metal en suspensión; b) por espolvoreo de partículas de metal sobre la superficie húmeda de una capa de imprimación que adhiera, con penetración, las partículas metálicas. Las múltiples pruebas realizadas aconsejan seleccionar como procedimiento con mejores resultados el sistema por espolvoreo. Cuando se apliquen cargas en masa, debe prestarse especial atención a la relación de pesos polvo de metal: aglomerante-resina, no debiendo en ningún caso salirse del rango 3 : 1 a 8 : 1 referidos a peso metal : aglomerante-resina, debiéndose doblar la cantidad de catalizador en caso de utilizarse resina.

### **Tercera**

Se han desarrollado procedimientos para el tratamiento previo a aplicar a las distintas probetas de chapa de metal, madera con carga metálica y tejidos, naturales y sintéticos, con carga de metal para garantizar que las recetas ataquen de modo similar a las superficies metálicas de todas ellas, con independencia de ser chapa de metal o polvo de metal unido a un aparejo sobre el soporte correspondiente. Estos procedimientos incluyen desengrasado, lijado, decapado químico y lavado como etapas inmediatamente anteriores a la aplicación de las recetas, cuyas condiciones de aplicación son específicas de cada una de ellas, tanto en cuanto a temperatura (en frío o en caliente), tiempo de reacción y método de aplicación (paletina, esponja, pulverizado, en fase gaseosa, como pasta, etc.), pudiendo facilitar este último las texturas resultantes.

### **Cuarta**

El trabajo de investigación realizado permite afirmar:

- Los colores reales obtenidos al aplicar recetas históricas, recopiladas en la bibliografía, a las probetas de chapa de metal difieren con frecuencia de los colores reportados en las fuentes de información.
- Las diferencias de color resultantes de una misma receta en distintos soportes con un mismo metal, son muy pequeñas. Por ello, se ha hecho una reordenación para identificar el color real producido por cada receta en cada metal específico, lo que ha permitido construir una amplia paleta de color para cada metal, mostradas en las Figuras 172 a 177 y en la relación de Recetas Utilizadas que figuran al final de la tesis.
- Es posible obtener gamas de color muy parecidas en distintos metales, algunas veces por aplicación de una misma receta en varios metales y, en la mayoría de los casos, aplicando recetas específicas para cada metal. Ejemplo de ello es la Figura 220, que recoge algunas ternas metal-receta-color.



Figura 220. Ejemplos de paletas parciales obtenidas con recetas aplicadas a distintos metales

- El procedimiento seguido para preparar los soportes con cargas de metal abre el camino para utilizar la técnica de generar color *in situ* no solo sobre chapas de metales, sino también sobre otros soportes rígidos o flexibles, adecuadamente preparados.

### Quinta

Cuando se dispone de un molde, como es habitual en escultura, la carga conviene realizarla por extensión de una capa fina de polvo sobre el molde, flexible o rígido, vertiendo con suavidad la capa de aglomerante – normalmente resina de poliéster, poliuretano o epoxi- hasta cubrir toda la superficie del molde, dejando polimerizar la primera capa antes de aplicar otras nuevas para reforzar suficientemente el espesor de la obra. Esta técnica es compatible con la utilización de distintas cargas de metal en una misma obra, aproximando el procedimiento al tradicional encastrado de metales.

### Sexta

La aplicación de pre-pátinas es optativa dependiendo del color que se desee obtener:

- Para obtener color de fondo más oscuro, se recomienda la aplicación de soluciones muy diluidas (< 2%) de sulfuro potásico (Receta 17, recién preparada) aplicada en caliente o en frío, que tiene la virtud de generar sulfuros del metal base, que son fácilmente atacables por los ácidos más fuertes que el ácido sulfhídrico, razón por la que dicha pre-pátina facilita la formación de una pátina con mayor adherencia.

- Para color de fondo verdoso, utilizar solución diluida de nitrato de cobre (entre el 2%-6%), aplicado en caliente, que constituye una buena base para aumentar la adherencia de la pátina posterior.
- La adherencia de la pre-pátina sobre el metal pulido es muy inferior a la correspondiente con probeta lijada, lo que permite afirmar que se trata de una regla general.

### Séptima

La electrólisis resulta de interés en los siguientes campos:

- Para la producción de polvo de muy baja granulometría utilizando una celda electrolítica con ánodo y cátodo del mismo metal que se desee producir y un electrolito de una sal del mismo ion metálico. Se recomienda utilizar rangos de intensidades más elevadas para depositar polvo de metal tanto sobre el cátodo como en el fondo de la celda electrolítica.
- Para producir recubrimientos de soportes metálicos con otro metal específico con alta adherencia, se emplearán intensidades de corriente bajas. Una alternativa muy sencilla es la utilización de reacciones de sustitución que, debido al posicionamiento relativo de los metales utilizados (soporte y recubrimiento deseado) en la Tabla 6 de PNE, producen reacciones espontáneas sin necesidad de aportación de energía.
- Los recubrimientos de un metal sobre materiales no conductores, requieren hacer conductora la superficie a recubrir, aplicando polvo de grafito en toda la superficie y presionando la misma con una cuchara (*método de la cuchara*) por su parte convexa para “unir” las partículas de grafito haciendo conductora la superficie. El depósito electrolítico de metal posterior aumenta su conductividad y adherencia.
- Se ha desarrollado un pincel electrolítico, que es simplemente convertir los pelos del pincel en una pequeña celda electrolítica. El pincel aporta, por un lado, volumen de electrolito para realizar la electrodeposición del metal que se desee y, por otra, la energía eléctrica suficiente procedente de una fuente de alimentación de corriente continua. El pincel debe actuar como ánodo y el soporte sobre el que se desea depositar, como cátodo.  
El pincel electrolítico permite acelerar reacciones espontáneas de electrodeposición de metales y fuerza reacciones no espontáneas por desplazamiento de los iones metálicos en el sentido que se desee. El diseño y pruebas de algunos prototipos elementales de pinceles así lo confirman.

### **Octava**

Las recetas químicas para dar color deben buscar, en la medida de lo posible, los colores de los minerales, porque son ellos los más estables por haber encontrado un equilibrio entre su composición y su estructura de cristalización, claves íntimamente relacionadas con el color de la materia.

### **Novena**

La estabilidad del color requiere protección frente a la acción del medio ambiente, por lo que debe procederse a:

- Pasivar la reacción redox en la que participa activamente el metal, para dar lugar a un color, cuando éste satisface el objetivo deseado.
- Proteger los productos de reacción para evitar su evolución temporal hacia otros más estables, pero con distinto color.

Se han realizado ensayos en Cámara de Envejecimiento acelerado con radiación ultravioleta, habiéndose comprobado el correcto funcionamiento de algunos productos aplicados sobre patinas generadas a lo largo del trabajo de investigación. Se recomiendan, en particular, la laca Zapón y la cera Alex o equivalente. Los protectores con resinas epoxi y de poliéster ofrecen menor protección frente a los rayos ultravioletas, producen oscurecimiento sobre las pátinas, pero ofrecen la característica de aportar dureza superficial y larga vida.

### **Décima**

En definitiva, los trabajos de investigación realizados han permitido establecer técnicas y procedimientos que han sido aplicados a la ejecución de algunas obras de demostración, en dibujo, pintura y escultura, a las que se han aportado colores generados *in situ*, sin necesidad de utilizar pigmentos convencionales, por ataque químico de soportes específicamente preparados para este fin. Todas las técnicas y procedimientos probados abren nuevos caminos a la creación artística y cubren los objetivos planteados en este trabajo de investigación aplicada.



## 8. BIBLIOGRAFIA

Se ha estructurado en tres apartados que precisan la naturaleza del origen de la información manejada durante la fase de lectura y análisis de informaciones previas y específicas manejadas durante el trabajo de investigación: Libros, Monografías y Tesis doctorales, e informaciones buscadas y encontradas en páginas webs.

### 8.1 Libros

- ALDAZ RIERA, A.** *Electroquímica (Tomo I)*. UNED D.L, Madrid. 1976. ISBN: 84-362-0843-9.
- ARRIBAS JIMENO, S.** *Alquimia Descrita por un Científico Moderno*, Universidad de Oviedo, 1991. Pp. 86. ISBN:84-7468-506-0.
- ASTM G 15-93:** *Standard terminology relating to corrosion and corrosion testing*. Ed. ASTM International, 1993.
- AUBET SEMMLER, M.E.** *Tartessos*. Ed. Ausa, 1989. ISBN: 978-84-86329-48-8.
- BABOR, J.A., IBARZ, J.** *Química General Moderna*. 2ª reimpresión. Ed. Marín: Bilbao, 1964. ISBN: BI. 2.290-1962.
- BALMER, J.J.** *Notiz über die Spektralliniendes Wasserstofs*, Annalen der Physik 25, 1885.
- BAGOTSKY, V.S.** *Fundamentals of Electrochemistry*. John Wiley & Sons, Inc. 2005. ISBN: 978-0471700586.
- BARBAULT, A.** *El Oro de la milésima Mañana*. Primera Edición. Ed. Sirio: Málaga.1986. ISBN: 84-86221-20-X.
- BARNES, C.** *The Coloration of Metals*. Wiley, Review of Progress in Coloration and Related Topics. SDC- Coloration Technology. Volume 14, Issue 1. 1984. ISSN: 1478-4408.
- BASOLO, F., JOHNSON, R.** *Química de los compuestos de coordinación*. La Química de los complejos metálicos. Ed. Reverté, S.A. Barcelona. 1980. ISBN: 8429170405.
- BATSDORFF.** *Le Filet d'Ariadne*. Laurent: d'Hour: Paris,1695.
- BENSAUDE-VINCENT. B.** *Lavoisier: una revolución científica*. Historia de las Ciencias. Ed. Serres, M.: Madrid, 1998. ISBN: 84-376-0988-7.
- BENSAUDE-VINCENT. B.** y Stengers, I. *Historia de la Química*. Addison – Wesley: Madrid, 1997. ISBN: 020182194X
- BERTHELOT, M.** *Collection des Anciens Alchimistes Grecs*. Première Livraison. Georges Steinheil, Editeur. Paris:1887. [Consulta 2-04-2018]. Disponible en: <https://archive.org/details/collectiondesanc01bert/page/n403>.
- BERTHELOT, M.** *Los orígenes de la Alquimia*. P. E. Traducción de J. Valero. MRA: 2001. ISBN 84-88865-68-6
- BERTORELLE, E.** *Trattato di Galvanotecnica*. Vol.I y II. Ed. Ulrico Hoepli, Milano. 1977. ISBN: 9788820374983 (Vol. I); 9788820374990 (Vol. II).
- BODNER G.M., PARDUE, H. L.** *Chemistry: an experimental science*. Ed. Jonh Wiley and Sons, N.Y. 1994. ISBN: 0471598763.
- BOYLE, R.** *El Químico escéptico*. Ed. Planeta. Barcelona. 2017. ISBN: 978-84-17067-24-3 .
- BRADLEY, M.** *The importance of colour on ancient marbel sculpture*. Art History. John Wiley & Sons, Inc. N.Y. Volume 32, Issue 3. June 2009. ISSN: 0141-6790.
- BRETT, C., OLIVEIRA, A.M.** *Electrochemistry: principles, methods, and applications*. Oxford Science Publications, Oxford. 1998. ISBN: 978-0198553885.
- BROCK, W. H.** *Historia de la química*. Ed. Alianza: Madrid, 1998. ISBN: 978-84-206-2912-4.
- BURN, R.** *Fundamentos de Química*. 5ªEd. Prentice Hall: Mexico,2011. ISBN: 978-607-32-0683-9.
- BURRIEL, F. et al.** *Química Analítica Cualitativa*. Ed. Paraninfo, Madrid, 1974. ISBN: 84-283-1253-2.
- CALUSARU, A.** *Electrodeposition of metal powders*. Elsevier Scientific Publishing, Amsterdam. 1979. ISBN: 978-0198553885.
- CAPELLO, E.** *Tecnología de la Fundición*. 3ª Tirada. Ed. Gustavo Gil S.A: Barcelona, 1974. ISBN:84-252-0278-7.

- CELLINI, B** *The Treatise of Benvenuto Cellini on Goldsmithing and Sculpture*. Dover. New York, 1967. ISBN: 0486215687 9780486215686.
- CENNINI, C.** *El Libro del Arte*. Ediciones ARGOS: Buenos Aires, 1947. ISBN: 978-84-9761-390-3.
- CISTERNAS, L. A.** *Diagramas de fases y su aplicación*. Ed. Reverté, Barcelona. 2009. ISBN: 978-84-291-2089. d.
- COEURET, F.** *Introducción a la Ingeniería Electroquímica*. Ed. Reverté, Barcelona. 1992. ISBN: 978-84-291-71174.
- CRADDOCK, P.T,** and Giumlia-Mair, A. *Hsmn-Km, Corinthian bronze, shakudo: black patinated bronze in the ancient world*. Metal plating and patination. Ed. Susan La Niece and Paul Craddock: Oxford-UK.,1993.
- CRiado-SANCHO, M., CASAS-VAZQUEZ, J.** *Termodinámica Química y de los Procesos Irreversibles*. Ed. Pearson Addison Wiley. 2004. ISBN: 84-7829-068-0.
- CRUZ-GARRITZ, D., CHAMIZO, J.A. et al.** *Estructura Atómica. Un enfoque químico*. Ed. Fondo Educativo Interamericano. Wilmington, Delaware, USA. 1986. ISBN: 968-6630-87-2.
- CUESTA MILLAN, J.I.** *El Secreto de los Alquimistas*. Ediciones Noutilus, Madrid. 2012. ISBN: 978-84-9967-056-0
- CURTMAN, L.** *Análisis Químico Cualitativo*. Ed. Marín, Barcelona, 1959. ISBN: no tiene.
- DE LA SELVA, T.** *De la Alquimia a la Química*. Ed. CONACYT, Mexico. 2015.
- DESCARTES, R.** *Meditaciones Metafísicas*. 1641. [Consulta: 9-2-2019]. Disponible en: [https://mercaba.org/Filosofia/Descartes/med\\_met\\_alfaguara\\_PDF](https://mercaba.org/Filosofia/Descartes/med_met_alfaguara_PDF).
- DOERNER, M.** *Los materiales de pintura y su empleo en el arte*. Edit. Reverté, Sexta Edición española, Barcelona, 1998. ISBN: 84-291-1423-8.
- DOUGLAS, B. et al.** *Concepts and Models of Inorganic Chemistry*. Jonh Wiley and Sons, Inc. USA. Third Edition. 1994. ISBN: 978-0-471-62978-8.
- DUPRE, M.G.** *Small Renaissance Bronzes*. Littlehampton Book Services Ltd. 1971.
- EIROA, J.J.** *Prehistoria de los Metales*. Ed. AKAL.Torrejón de Ardoz, Madrid. 1996.
- EMSLEY, J.** *La impactante Historia del Fósforo*. 2000. ISBN o-330-39005-8.
- ESTEVA DE SAGRERA, J.** *La química sagrada: de la Alquimia a la química en el siglo XVII*. Ed. AKAL Madrid, 1991. ISBN: 978-84-7600-738-9.
- ETTINGER, R.C.** *The Prospect of Immortality*. Ed. Charles Tandy. University Press, 1962. ISBN 978-1-934297-21-6.
- FERRERO, M.** et al. *Fundamentos de Física Cuántica*. Editorial Complutense. Madrid. 1996. ISBN: 84-89365-93-8.
- FILATELEO, I.** *La Entrada Abierta al palacio del Rey*. 1.645.Capitulo XII, Punto II. [Consulta: 12 -1- 2018]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/183067127/Irineo-Filaleteo-La-entrada-abierta-al-palacio-cerrado-del-rey-pdf>.
- FLAMEL, N.** *El sumario Filosófico. El libro de las figuras jeroglíficas*. 1399. [Consulta: 10-1-2018]. Disponible en: <https://cosmogono.files.wordpress.com/2017/02/breve-tratado-o-sumario-filosofico.pdf>.
- FLYNN, T.** *El cuerpo en la escultura*. Ed. AKAL: Madrid, 2002. ISBN: 978-84-460-1154-5.
- FORTNUM, C. DRURY.** *Bronzes*. London. 1877.
- FULCANELLI.** *Las Moradas Filosóficas*. Ed. Plaza y Janés: Barcelona, 1971.
- GAGE, J.** *Color y Cultura*. Ediciones Siruela: Madrid, 2011. ISBN: 13: 9788478443802.
- GARCÍA FONT, J.** *Historia de la Alquimia en España*. 10ª Edición. Editorial Nacional: Madrid, 1976. Pp. 13. ISBN: 8427603479.
- GEBELEIN, H.** *Los Secretos de la Alquimia*. Ed. Robinbook, Barcelona. 1987. ISBN: 978-84-7927-928-8.
- GÉNESIS 1, 26-27./ 2:7./ 2:16-17./ 3:22-24./ 6: 1-4./ 4:22.**
- GERSI, I.** *Galvanoplastia: níqueladura, plateadura, dorado, encobrado, metalizaciones*. Ed. Adrián Romo, Madrid. 1910.
- GONZALEZ, J.** *Electroquímica iónica. Vol.1: Interacciones Ion-Disolvente, Interacciones Ion-Ion*. Ed. Círculo Rojo, España. 2014. ISBN: 84-907-6410-7.

**GRILLOT DE GIVRY**. *La Gran Obra*. Biblioteca esotérica. Ed. Yug: Mexico, 1982. Pp. 37. ISBN: 968-7149-16-7.

**GODFREY, S.S.** *Dreams & Reality*. Trafford Publishing. Chapter 2. 2003. ISBN 1-4120-1143-4

**GREENWOOD, N.N., EARNSHAW, A.** *Chemistry of the Elements*. University of Leeds, UK. Second Edition. 2009. ISBN: 978-0-7506-3365-9.

**GUEVARA ROMERO, J.** *Figuras Cumbres de la Física y de la Química*. Asociación Peruana de la Soka Gakkai Int. 2002. ISBN: 9972-706-19-2.

**GUTIERREZ RIOS, E.** *Química Inorgánica*. Editorial Reverté. 2ª Edición. 1984. ISBN: 978-84-291-7215-7.

**HEALEY, J.F.** *Mining and Metallurgy in the Greek and Roman World*. First Edition. Thames and Hudson: London, 1978. ISBN: ISBN-10: 0500400350.

**HIORNS, A.H.** *Metal-Colouring and Bronzing*. Ed. MacMillan and Co.: London, 1892.

**HISCOX, G.D., HOPKINS, A.A.** *Recetario Industrial*. 2ª Edición. Gustavo Gili, Barcelona. 1941.

**HOLMYARD, E.J.** *La prodigiosa historia de la Alquimia*. Gardiana de Publicaciones: Madrid, 1970. ISBN: 10: 4000343653.

**HOUSECROFT, C.E. and SHARPE, A. G.** *Inorganic Chemistry*. Pearson Prentice Hall, England. Third Ed. 2008. ISBN: 978-0-13-175553-6.

**HUERTAS TORREJON, M.** *Materiales, Procedimientos y Técnicas Pictóricas I*. Ediciones AKAL: Madrid, 2010. ISBN: 97884-460-1862-9.

**HUHEEY, J.E, et al.** *Inorganic Chemistry. Principles of Structures and Reactivity*. Harper Collins College Publishers, N.Y. 1993. ISBN: 0-06-042995-X.

**HUGHES, R., ROWE, M.** *The Colouring, Bronzing and Patination of Metals*. Crafts Council: London, 1989. ISBN: 0-903798-60-3.

**HULLIGER, F.A.** *Structural Chemistry of Layer-Type Phases*. Ed. F. Levy. D. Reidel Publishing Co., Dordrecht: Holland/Boston: USA, 1976. ISBN: 90-277-0714-6.

**IUPAC.** *Compendium of Chemical Terminology*, 2nd ed. (the "Gold Book"). Compiled by A. D. McNaught and A. Wilkinson. Blackwell Scientific Publications, Oxford .1997. ISBN: 0865426848.

**JACOBI, P.** *Application de l'électromagnétisme*. Postsdam, 1835.

**JOLLY, W.L.** *Modern Inorganic Chemistry*. McGraw Hill Int.N.Y. Second Edition. 1991. ISBN: 0-07-112651-1

**JULVE SALVADO, E.** *Electrodeposición y deposición química (sin corriente) de metales preciosos industriales: Volumen I, Fundamentos, equipo y baños*. Ed. EJS: Barcelona, 2003. ISBN: 978-84-607-9420-2.

**KIPPER, P.** *Pátinas for silicon bronze*. Ed. Rodgers & Nelsen Publishing Co. USA. 1996. ISBN - 13: 978-0964726901.

**KOTZ J.C., TREICHEL, P.M.** *Química y reactividad química*. Ed. Int. Thomson Editores, España. Quinta Edición. 2004. ISBN: 9706863079.

**KÜPPERS, H.** *Atlas de los Colores*. Ed. Blume. Barcelona. 1979. ISBN: 84-7031-143-3.

**LACOMBE, M.S.** *Nouveau Manuel Complet de Bronzage des Métaux et du Plâtre*. Encyclopedie Roret. Paris, 1910.

**LAICESTER, H.M.** *Panorama Histórico de la Química*. Ed. Alhambra, Madrid. 1967.

**LAIDLER, K. J.** *The world of Physical Chemistry*. Oxford University Press: New York, 1995. Chapter 1. ISBN: 0-19-855597-0.

**LAKHOVSKY, G.** *El Secreto de la Vida: Las ondas cósmicas y la radiación viral*. Biblioteca de Ideas y Estudios Contemporáneos: 1927. [Consulta: 7-1-2018]. Disponible en: [https://issuu.com/astroman2013/docs/el\\_secreto\\_lakhovsky](https://issuu.com/astroman2013/docs/el_secreto_lakhovsky)

**LANTERI, E.** *Modelling and sculpting the human figure*. Dover Publications Inc. N.Y. 1985. ISBN: 0-486-25006-7.

**LANTERI, E.** *Modelling and sculpting animals*. Dover Publications Inc. N.Y. 1985. ISBN: 0-486-25007-5.

**LATIMER, M.W.** *Oxidation Potentials*. Second Edition. Prentice-Hall, Inc.: Englewood Cliffs, N.J. 1952. ISBN: B007AY34F2

**LECHTMAN, H.** *Gilding of Metals in Pre-Columbian Peru*. Application of Science in the Examination of Works of Arts: Boston, 1973.

**LEVENSPIEL, O.** *Ingeniería de las reacciones químicas*. Ed. Reverté. Barcelona. 1974. ISBN: 84-291-7325-0.

**LUANCO Y XUMETRA , J. R.** *La Alquimia en España*. Ed. Fidel Giró, Barcelona. 1889.

**MATIA, P. BLANCH, E. et al.** *Conceptos fundamentales del lenguaje escultórico*. Ed. AKAL, Madrid. 2006. ISBN: 978-84-460-1804-9.

**MATIA, P. BLANCH, E. et al.** *Procedimientos y materiales en la obra escultórica*. Ed. AKAL, Madrid. 2009. ISBN: 978-84-460-1805-6.

**MICHAEL, J.** *Coloration des Metaux*. Librairie Central des Sciences. 3ª Édition Desforges, Girardot & Cie.: Paris, 1931.

**MANTEL, C.L.** *Ingeniería Electro-Química*. Ed. Reverté: Barcelona, 1980. ISBN:978-84-291-7940-8.

**MARTÍN\_REYES. G.** *Breve Historia la Alkimia*. Fund. Canaria Orotava de Hª. de la Ciencia: Santa Cruz de Tenerife, 2004. ISBN: 9788460907480.

**MILLIKAN, R.A.** *The electron and the light-quant from the experimental point of view*. Nobel Lecture: May 1924.

**MOHLER, J. B.** *Electroplating and Related Processes*. Chemical Publishing Co. 1969. ISBN: 0-8206-0037-7.

**MORCILLO RUBIO, J.** *Temas Básicos de Química*. Ed. Alhambra. Madrid. 1989. ISBN: 84-205-0782-2

**PAULING, L.** *Química General*. Ediciones Ciencia y Técnica. Aguilar S.A. de Ediciones, 1977. ISBN: 84-01-20252-0.

**PAUNOVIC, M., SCHLESINGER, M.** *Fundamentals of Electrochemical Deposition*. John Wiley & Sons, Inc, N.Y. Second Edition. 2005. ISBN: 978-04717712213.

**Patente** inglesa 452 464.

**Patente** norteamericana número 2 081 121 utilizada por United Chromium, Inc.

**PALET, A.** *Tratado de pintura: Color, pigmentos y ensayo*. Ed. Universitat de Barcelona. 2002. ISBN: 84-8338-313-6.

**PAUWELS, L. Y BERGIER, J.** *Retorno de los Brujos*. Plaza y Janés: Barcelona, 1961. ISBN: 9788401334009.

**PETRUCCI, R. et al.** *Química General. Principios y Aplicaciones Modernas*. 11ª Edición. Ed. Pearson: Madrid, 2017. ISBN: 9788490355336

**PILKINGTON, R.** *Robert Boyle: Father of chemistry (Men and discoveries library)*. John Murray: London, 1959. Pp. 11. ISBN: 10: 071950130X

**PLENDERLEITH, H.J.** *Metal and Metal Technique*. Wooley Ed., The Ur Excavations. Vol II. London, 1934. Pp. 28. ISBN:

**POURBAIX, M.** *Lectures on Electrochemical Corrosion*. CEBELCOR. Plenum Press: New York-London. 1973. Pp.16-17. ISBN: 0-306-30449-X.

**PRIMO-YUFERA, E.** *Química Orgánica Básica y Aplicada: de la molécula a la industria*. Editorial Reverté. Barcelona. 1995. ISBN: 8429179534.

**READ, H.** *A concise history of modern sculpture*. Oxford University Press. N.Y.1964. LCC nº 64-19789.

**REAL ACADEMIA ESPAÑOLA [RAE]**. Diccionario. 2017.

**REBOIRAS DOMINGUEZ, M.A.** *Química: la ciencia básica*. Int. Thomson Editores, España. 2006. ISBN: 84-9132-347-5.

**ROBBIOLA, L., FIAUD C.** *New Model of Outdoor Bronze Corrosion and Its Implications for Conservation*. ICOM Committee for Conservation tenth triennial meeting, Aug 1993. Vol. II. Washington, USA. ISBN: 0935868658.

**RUNFOLA, M.** *Patina: 300+ Coloration Effects for Jewelers & Metalsmiths*. Ed. Interweave Press. Loveland, Co. USA. 2014. ISBN-13: 978-1620331392.

**SADOUL, J.** *El Tesoro de los Alquimistas*. Ed. Plaza & Janés: Barcelona, 1974. ISBN: 10: 8401470234.

**BENSAUDE-VINCENTE, B. Y STENGERS, I.** *Historia de la Química*. Addison – Wesley: Madrid, 1997. ISBN: 020182194X.

**RAMIREZ, V.M.** *Química General*. Primera Edición e-book. Grupo Ed. Patria, S.A. Méjico. 2014. ISBN ebook: 978 607 744 008 6.

**SANCHEZ, G.** *Espiritualismo*. USA. Primera Edición en Español. 2010. ISBN: 145889252.

**SANGHERA, P.** *Quantum Physics for Scientists and Technologists: Fundamental Principles*

- and Applications. John Wiley & Sons, Inc. N.Y. 2011. ISBN: 978-0470294529.
- SAVAGE, G.** *Concise History of Bronze*. Thames and Hudson: London, 1968. ISBN: 050018089X
- SCHÜTT, H-W.** *En busca de la piedra de la sabiduría (I), Historia de la Alquimia*. Acento Editorial, Madrid. 2000. ISBN: 84-483-0687-2.
- SCHÜTT, H-W.** *En busca de la piedra de la sabiduría (II), Historia de la Alquimia*. Acento Editorial, Madrid. 2000. ISBN: 84 483 0689 9.
- SECUNDUS, P.** *Natural History*. Translated by H. Rackham. Harvard University Press. Volúmenes IX y X tratan la estatua de bronce. 1967.
- SHIRLEY, B.** *The Bronze Patina Book: How to add patinas inexpensively & safely*. Smashwords Editions. 2013. ISBN: 978-13-01363605.
- SIMON, H.** *La puerta cerrada, diario de un alquimista*. Ed. Hermetismo hoy, Muñoz Moya y Montraventa. 2ª Edición, 1991. BRENES (Sevilla). ISBN: 84-86335-84-1.
- SIMON, H.** *Las Palomas de Diana y la Medicina Universal*. Ed. Ed. Baussant, La Coruña, 1995. ISBN: 84-605-3056-6.
- SKOOG, D.A., et al.** *Fundamentos de Química Analítica*. Novena Edición. Brooks/Cole. 2015. ISBN: 978-607-519-372-9.
- SMEE, M.** *Galvanoplastie*. Ed. De Valicourt: Paris, 1849.
- SMITH, C.S.** *Historical Notes on the Colouring of Metals*. Recent Advances in the Science and Technology of Materials. Vol.III. Plenum: New York, 1974.
- THEOPHILUS.** *De Diversis Artibus*. Text with Trans. C.R. Ed. Dodwell, London. 1961. J.H. Hawthorne, J.H., Smith, C.S. (*Translation with Technical Notes*. Chicago. Chapter 71.1963. Sin ISBN.
- TIPHAIGNE DE LA ROCHE, C.F.** *Giphantie*. Editions Marguerite Waknine:2 013, ISBN: 978-2-916694-47-4.
- UNTRACHT, O.** *Metal Techniques for Craftsmen: A Basic Manual for Craftsmen on the Methods of Forming and Decorating Metals*. Editor: Doubleday, First Edition. 1968. ISBN: 13-978-0385030274.
- USSHER, J.** *The Annals of the World*. Ed. Master Books.2003. ISBN: 0890513600
- WILDE, S.A.,** Valley, J.W., Peck, W.H., y Graham, C.M. *Evidence from detrital zircons for the existence of continental crust and oceans on the Earth 4.4 Gyr ago*. Macmillan Magazines Ltd. Nature 409. 11 January 2001. [Consulta 6-05-2019]. Disponible en: <http://www.geology.wisc.edu/~valley/zircons/Wilde2001Nature.pdf>.
- YODE, C.H.** *Ionic Compound: applications of Chemistry to Mineralogy*. Ed. Jonh Wiley & Sons. Inc. Canada. 2007. ISBN: 13 978-0471-74046-9.
- YOUNG, R.D., FENNELL, A.** *Methods for Modern Sculptors*. Ed. Sculpt Nouveau. San Rafael, CA-USA, 1980.ISBN: 0-9603744-0-X
- YOUNG, R.D.** *Contemporary Patination for bronze, brass and copper*. 2<sup>nd</sup>. Edition. Sculpt Nouveau: USA, 2015. ISBN: 978-0-9603744-7-2.
- ZANELLO, P.** *Inorganic electrochemistry. Theory, practice and application*. Ed. The Royal Society of Chemistry, U.K. 2003. Registered Charity Number 107890.

## 8.2. Monografías y Tesis Doctorales

- AUBERT, M. et al.** "Palaeolithic cave art in Borneo". Macmillan Magazines Ltd. Nature 564: 7 de noviembre 2018. Pp.254-257. DOI: 10.1038/s41586-018-0679-9.
- AUBERT, M. et al.** "Palaeolithic cave art in Borneo". Nature 564. 7 de noviembre 2018. Pp.254-257. DOI: 10.1038/s41586-018-0679-9
- BENÍTEZ, J.** *Ética y Leyes sobre los cadáveres congelados*. El Mundo, 18 -2- 2019. Pp. 26.
- BERZELIUS, J.J.** *Jöns Jacob Berzelius A Guide to the Perplexed Chemist*. Ed. Spriger Link: The Chemical Educator,5, 2000. Pp.343-350.
- BOCKRIS, J., SUNDARESAN, R.** *Electrochemistry, Tritium and Transmutation*. Texas A&M University. Pp. 123-128. 1994. [Consulta 9-01-2018]. Disponible en: [http://coldfusioncommunity.net/pdf/conf/ISCF/123\\_ISCF.pdf](http://coldfusioncommunity.net/pdf/conf/ISCF/123_ISCF.pdf).
- BONSANTI, G.** (2004). *Il punto di vista dello storico dell'arte*. En: P. Tiano y C. Pardini (editores), *Le Patine: Genesi, significato, conservazione*. Nardini Editore, Firenze. 2004. Pp. 55-65.
- BRACKETT, F.S.** *Visible and Infrared Radiation of Hydrogen*. Astrophysical Journal, Vol. 56, nº 3, Sep. 1922. Pp. 154-161. B. Code: 1922.
- BRUGNATELLI, L.V** *Journal de Chimie de Van Moins*.1803.
- CANDAL, R.** *Estudio fisicoquímico de la síntesis por precipitación homogénea de precursores de óxidos metálicos pulvulentos*. Tesis de Doctor. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. 1995. Pp. 5-6.
- CHANG, T. et al.** *The role of Sn on the long-term atmospheric corrosion of binary Cu-Sn T bronze alloys in architecture*. Corrosion Science 149, ScienceDirect: 2019. Pp. 54. [Consulta 17-05-2019]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0010938X18319917>.
- CHANG, T.** *Atmospheric corrosion of cooper and cooper-based alloys in architecture- rom native oxides to fully developed patinas*. Doctoral thesis. KTH Royal institute of Technology. Department of Chemistry. Stockholm, Sweden. 2018.PP. 11-12. ISBN: 978-91-7729-994-3.
- CHANG, T.** *Op. Cit. en (289)*. Pp. 54.
- CHASE, W.T and FRANKLIN, U.M.** *Early Chinese Black Mirrors and Pattern Etched Wepons*. Ars Orientalis: 1979. Pp. 216-258.
- CORTÉS, L., SCATTOLIN, M.C.** *Ancient metalworking in South America: a 3000-year-old copper mask from the Argentinian Andes*. Antiquity: Antiquity Publications ,91 357 ,2017. Pp. 688–700. DOI: 10.15184/aqy.2017.28
- CRADDOCK, P., and GIUMLIA-MAIR, A.** *Corinthian bronze, shakudo: black patinated bronze in the ancient world. Metal plating and patination*. Ed. Susan La Niece and Paul Craddock: Oxford-UK.,1993. Pp. XX
- CROOKES, W.** *On Radiant Matter*. The Popular Science Monthly, Volume 16. D. Appleton, 1880. Pp.157
- CRAIG E IRION.** *Metals & Alloys*, 6. 1935. Pp. 35.
- DI CARLO, G., et al.** *Artificial patina formation onto copper-based alloys: Chloride and sulphate induced corrosion processes*. Applied Surface Science. Elsevier B.V.: **421**, 2017.
- DÖBEREINER, J. W.** *An Attempt to Group Elementary Substances according to Their Analogies*. Annalen der Physik und Chemie 20. 1829. Pp 301 - 307.
- DOUAY, N.** *La invención de la escritura: Una búsqueda de elevación y de eternidad*. Le Parc "La Belle Idée", 2013. Pp. 7-8. Pp. 20 y 24. [Consulta 15-4-2019]. Disponible en: <https://www.parclabelleidee.fr/docs/productions/invencionescritura.pdf>.
- DOMINGUEZ GARCIA, A. et al.** *Corpus del arte rupestre en Extremadura*. Junta de Extremadura: Consejería de Cultura y Turismo. 2017. ISBN: 978-84-9852-049-1.
- DREYFUS, H.L.** *Alchemy and Artificial Intelligence*. Rand Corporation. Santa Monica: California, 1965. P-3244. [Consulta: 28-4-2019]. Disponible en: <https://www.rand.org/pubs/papers/P3244.html>.
- DRUDE, P.** *Zur Elektronentheorie der Metalle*. Annalen der Physik. 306 (3). Pp. 566-613. [Consulta: el 29-2-2018]. Disponible en: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/andp.19003060312/pdf>.

- DUBAN, A.** Historia de la Química. [Consulta 13-11-2018]. Disponible en: <http://mifuturo-duvan.blogspot.com/2011/10/biologia.html>.
- DURÁN A., A.** *Marcha analítica y sistemática para la determinación de cationes y aniones. Examen Analítico de los Aniones en una Solución.* Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín, Volumen 4, Número 12: Medellín, 1941. ISSN impreso: 0304-2847.
- EROLE, A.J., FRIEDBERG, A.I.** *Color and Structural Character of CdS-CdSe Pigments.* Journal of The American Ceramic Society, nº 48. May 1965. Pp.223-227. Consultado [19. Sep. 2019] en: <https://ceramics.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/j.1151-2916.1965.tb14725.x#accessDenialLayout>
- GALLEGO BADILLO, R., PÉREZ MIRANDA, R.** *Una aproximación a un análisis histórico y social general de la Alquimia.* Educación Química, vol.25 no.2, México, Abril 2014. [Consulta: 20-12-2018]. Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-893X2014000200004](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-893X2014000200004).
- GALVANI, L.** *De viribus electricitatis in motu musculari commentarius.* Bologna, 1791.
- GEARHART, H.C.** *Theophilus' On Diverse Arts: The Persona of the Artist and the Production of Art in the Twelfth Century.* The University of Michigan: Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy (History of Art), 2010. [Consulta 10-11-2018]. Disponible en: <https://arhpee.typepad.com/Theophile%20par%20Gearhart.pdf>
- GIUMLIA-MAIR.** *The Enkomi cup: niello vs kuwano.* Ponencia nº11 en: V. Kassianidou and G. Papasavvas, eds. 2012. Eastern Mediterranean Metallurgy and Metalwork in the Second Millennium B.C. A conference in honour of James D. Muhly. Nicosia, 10-11th October 2009. Oxford and Oakville: Oxbow Books.
- GONZALEZ, G.A.** *Transporte iónico y patrones de crecimiento en electrodeposición ramificada.* Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. 2003.
- GOWLAND, W.** *Metals and Metalworking in Old Japan.* Transaction of the Japan Society. Nº 30. 1914-1915.
- GOWLAND, W.** *The Art of Casting Bronze in Japan.* Journal of The Society of Arts. Nº 43.1894.
- HOFFMANN, C.D., et al.** *U-Th dating of carbonate crusts reveals Neandertal origin of Iberian cave art.* Science. Vol. 359. Issue 6378: 23 Feb. 2018. Pp.912-915. DOI: 10.1126/science.aap7778. [Consulta 12-04-2018]. Disponible en: <https://science.sciencemag.org/content/359/6378/912>.
- HOLGUERAS MILLAN, M.** *Less-elaborate bone tools during the Lower and Middle Paleolithic, and its continuity during the Upper Paleolithic: An historiographical review.* Ed. Complutum. 2014. ISSN: 1131-6993.
- HUERTAS TORREJON, M.** *Recopilación de las técnicas pictóricas contenidas en los tratados españoles del siglo XVII y XVIII. Su reconstrucción y adecuación a las necesidades plásticas actuales. (adaptación personal),* Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid, 1985.
- INGO, G.M. et al.** *Large scale investigation of chemical composition, structure and corrosion mechanism of bronze archeological artefacts from Mediterranean basin.* Ed. Springer-Verlag. Heidelberg (Alemania). 2006.
- JULVE SALVADO, E.** *Las artísticas formas dendríticas producidas en la electrodeposición de metales.* Anales de Química, 104(1), Barcelona, 2008.
- LATIMER, W.M.** *The Oxidation States of the Elements and their Potentials in Aqueous Solutions.* Prentice-Hall, Inc.: New York. 1938. [Consulta 10-02-2018]. Disponible en: <https://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=mdp.39015078691154;view=1up;seq=9>.
- LI LIU.** *Caminos hacia la complejidad social en China.* Boletín de Arqueología PUCP / N.º 11, 2007.
- LÓPEZ, R.** *The Antediluvian Patriarchs and the Sumerian King List* [Los patriarcas antediluvianos y la lista de los reyes sumerios]. CEN. Technical Journal 12, no. 3., 1998.
- LUCAS PELLICER, M.R. et al.** *Dibujos en la roca.* Serie Arqueología, Paleontología y Etnografía. Ed. Consejería de Cultura y Deporte: Dirección General del Patrimonio Histórico. 2006. ISBN: 978-84-451-2853-4.
- MACHADO GUTIERREZ, J.** *Construyendo al sujeto histórico del Paleolítico medio: humanos, objetos y modos de vida.* Ed. Estrat Critics: Revista d'Arqueología, 5. 2011.
- MEDES, N.** *La Alquimia en la Europa medieval.* El Reporte:1 Mayo 2019. [Consulta 2-5-2019]. Disponible en: <https://www.elreporte.com.uy/la-Alquimia-en-la-europa-medieval/>.
- MICHAŁOWSKA-KACZMARCZYK, M. et al.** *Why Not Stoichiometry" Versus Stoichiometry—Why Not?. Part II: Gates in Context with Redox Systems.* Critical Reviews in Analytical Chemistry. 45(3): July 2015. 241-269. Pp. 245 / 10.1080/10408347.2014.937853.

- MORENO PAVON, C.** *Diseño y normalización de patinas en la creación escultórica: Caracterización y procesos técnicos.* Tesis doctoral. Universidad de Granada- Departamento de Escultura. 2008. ISBN: 978-84-691-5980-4
- NAVARRETE, M.A.** *Cerámicas neolíticas en la provincia de Granada.* Serie Monográfica arte y arqueología. Vol. 9. Universidad de Granada. 1991. ISBN: 978-84-338-1306-0.
- NEWLANDS, J. A. R.** *On Relations among the Equivalents.* Chemical News nº.7, Feb. 7, 1863. Pp.70-72; *Relations between Equivalents.* nº 10, July 30, 1864. Pp. 59-60; *On Relations Among the Equivalents.* nº 10, Aug. 20, 1864.; *On the Law of Octave.* nº. 12, Aug. 18, 1865. *Proceedings of Societies [Report on the Law of Octaves].* Nº 13, March 9, 1866.
- PAPOT, A.** *Mis en couleur: the colouring of gilt bronze. A review of recipes.* Twelfth International Symposium on Wood and Furniture Conservation. Amsterdam, 14-15 Nov. 2014.
- RÍOS, T. et al.** *Skeletal anomalies in the neandertal family of El Sidrón (Spain) support a role of inbreeding in neandertal extinction.* Scientific Reports. DOI: 10.1038/s41598-019-38571-1, 2019. [Consulta: 1-3-2019]. Disponible en: <http://paleontologia-y-evolucion-ucm.blogspot.com/2019/02/>. Disponible también en: El Mundo, 9 -2- 2019,
- MUÑOZ PORTERO, M.J.** *Características y usos de los diagramas de Pourbaix.* Universidad Politécnica de Valencia. 2011. [Consulta: 30-05-2019]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10251/13708>
- OGUCHI, H.** *Japanese Shakudo. Its History, Properties and Production from Gold-Containing Alloys.* Gold Bull., 1983,16, (4).
- PAPPOT, A.** *Mis en couleur: the colouring of gilt bronze. A review of recipes.* Twelfth International Symposium on Wood and Furniture Conservation. Amsterdam, 14-15 Nov. 2014.
- PAULING, L.** *The Nature of the Chemical Bond. IV. The Energy of Single Bonds and the Relative Electronegativity of Atoms.* Journal of the American Chemical Society 54 (9), 1932.
- PÉREZ BUSTAMANTE, J.** *“El concepto integral de la Alquimia: filosofía de la materia, de la curación y de la trascendencia.* Folia Humanística, volumen 26, número 304, 1988.
- PIJANOWSKI, H.S., PIJANOWSKI, E.** *Lamination of non-Ferrous Metals by Diffusion: Adaptations of the Traditional Japanese Technique of Mokume-Gane.* Society of North America Goldsmith. Goldsmith Journal, 1977. 3(4).
- POWELL, K. et al.** *Chemical speciation of environmentally significant metals with inorganic ligands.* Pure Appl. Chem., Vol. 79, No.5. 2007.
- RODRIGUEZ SANCHO, I.** *Nuevos soportes rígidos con fines artísticos.* Tesis Doctoral Departamento de Pintura, Facultad de Bellas Artes. UCM. 2001. ISBN: 978-84-8466-180-1
- ROVIRA, S.** *Metalurgia de Crisol: La Obtención de Cobre en la Prehistoria de la Península Ibérica.* De Re Metallica, Vol. 5, 2005. Pp. 87-94. ISSN-e: 1888-8615.
- SOLER, A., CASTRO, K., et al.** *Anodo-Cátodo.Electrólisis y Galvanografía. La memoria química esculpida por electrones.* Ed. INCITE. Consejería de Industria y Energía de la Xunta de Galicia- Universidad de Vigo. 2013. ISBN: 978-84-15097-97-6.
- TALMA, M.** *The application of black-patinated alloys in the Eastern Mediterranean: technology and technology transfer.* Master of Arts, Hoogeveen (Netherlands): July 2015.
- TSANGARAKI-KAPLANOGLU, S., et. al.** *Effect of alloy types on the electrolytic coloring process of aluminum.* Surface and Coatings Technology, Volume 10. 2006. ISSN: 3969-3979.
- VÁZQUEZ CALVO, M.** *Técnica Tradicional de Protección y Embellecimiento de la Piedra en el Patrimonio Arquitectónico: Pátinas Históricas en la Península Ibérica.* Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Geológicas: Departamento de Petrología y Geoquímica. UCM. Madrid 2013.

### 8.3. Páginas WEB's

	Nº Cita
[Consulta 25-04-2019]. Disponible en: <a href="https://es.wikipedia.org/wiki/Homo_erectus_pekinensis">https://es.wikipedia.org/wiki/Homo_erectus_pekinensis</a>	7
[Consulta 12-04-2019]. Disponible en: <a href="https://terraeantiquae.com/m/blogpost?id=2043782%3ABlogPost%3A435054">https://terraeantiquae.com/m/blogpost?id=2043782%3ABlogPost%3A435054</a> .	9
[Consulta 19-08-2018]. Disponible en: <a href="http://www.reydekish.com">www.reydekish.com</a> .	12
[Consulta 16-09-2018]. Disponible en: <a href="http://www.europapress.es/cantabria/noticia-hallado-cueva-pendo-fragmento-baston-mando-hace-16000-anos-20180724174537.html">http://www.europapress.es/cantabria/noticia-hallado-cueva-pendo-fragmento-baston-mando-hace-16000-anos-20180724174537.html</a> .	13
[Consulta 16-09-2018]. Disponible en: <a href="https://es.wikipedia.org/wiki/Abrigo_de_La_Madeleine">https://es.wikipedia.org/wiki/Abrigo_de_La_Madeleine</a> .	14
[Consulta 28-4-2019]. Disponible en: <a href="https://es.wikipedia.org/wiki/Cerámica_prehistórica">https://es.wikipedia.org/wiki/Cerámica_prehistórica</a>	18
[Consulta: 15-4-2019]. Disponible en: <a href="https://en.wikipedia.org/wiki/Juris_Zarins">https://en.wikipedia.org/wiki/Juris_Zarins</a> .	31
[Consulta: 15-4-2019]. Disponible en: <a href="https://www.muyhistoria.es/curiosidades/preguntas-respuestas/avala-la-historia-el-diluvio-universal-771398067544">https://www.muyhistoria.es/curiosidades/preguntas-respuestas/avala-la-historia-el-diluvio-universal-771398067544</a> .	35
[Consulta 8-05-2019]. Disponible en: <a href="http://www.wikiwand.com/es/Civilización_minoica">http://www.wikiwand.com/es/Civilización_minoica</a>	47
[Consulta 11-05-2019]. Disponible en: <a href="http://ceres.mcu.es/pages/ResultSearch?Museo=MAN&amp;txtSimpleSearch=La%20Ce%F1uela&amp;simpleSearch=0&amp;hipertextSearch=1&amp;search=advancedUnion&amp;MuseumsSearch=MAN%7C&amp;MuseumsRolSearch=9&amp;listaMuseos=[Museo%20Arqueol%F3gico%20Nacional]">http://ceres.mcu.es/pages/ResultSearch?Museo=MAN&amp;txtSimpleSearch=La%20Ce%F1uela&amp;simpleSearch=0&amp;hipertextSearch=1&amp;search=advancedUnion&amp;MuseumsSearch=MAN%7C&amp;MuseumsRolSearch=9&amp;listaMuseos=[Museo%20Arqueol%F3gico%20Nacional]</a> .	49
[Consulta: 17-12-2017]. Disponible en: <a href="https://www.apuntesdehistoria.net/civilizacion-minoica/">https://www.apuntesdehistoria.net/civilizacion-minoica/</a> .	52
Consulta 20-02-2018]. Disponible en: <a href="https://sites.google.com/site/terceromedioidiff/el-hierro/origen-de-la-edad-del-hierro">https://sites.google.com/site/terceromedioidiff/el-hierro/origen-de-la-edad-del-hierro</a> .	54
[Consulta: 10-1-2018]. Disponible en: <a href="https://encolombia.com/educacion-cultura/arte-cultura/civilizaciones/civilizacion-china/">https://encolombia.com/educacion-cultura/arte-cultura/civilizaciones/civilizacion-china/</a> .	60
[Consulta 8-9-2018]. Disponible en: <a href="https://es.wikipedia.org/wiki/Mausoleo_de_Qin_Shi_Huang#/media/File:Terracotta_pmorgan.jpg">https://es.wikipedia.org/wiki/Mausoleo_de_Qin_Shi_Huang#/media/File:Terracotta_pmorgan.jpg</a>	61
[Consulta: 28-4-2019]. Disponible en: <a href="https://es.wikipedia.org/wiki/Alquimia#La_Alquimia_como_investigaci3n_de_la_naturaleza">https://es.wikipedia.org/wiki/Alquimia#La_Alquimia_como_investigaci3n_de_la_naturaleza</a> .	83
[Consulta 28-04-2019]. Disponible en: <a href="http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Alquimia_35145.pdf">http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Alquimia_35145.pdf</a> .	104
[Consulta: 18-10-2018]. Disponible en: <a href="http://www.librosmaravillosos.com/brevehistoriadelaAlquimia/index.html">www.librosmaravillosos.com/brevehistoriadelaAlquimia/index.html</a> .	108

	<b>Nº Cita</b>
[Consulta: 27 -10-2018]. Disponible en: <a href="http://www.librosmaravillosos.com/brevehistoriadelaAlquimia/index.html">www.librosmaravillosos.com/brevehistoriadelaAlquimia/index.html</a> .	125
[Consulta: 21-10-2018]. Disponible en: <a href="https://vdocuments.mx/quimica-558494a32689b.html">https://vdocuments.mx/quimica-558494a32689b.html</a> .	137
[Consulta: 27-10-2018]. Disponible en: <a href="http://www.alquimistaytp.blogspot.com/2016/11/la-Alquimia.html">www.alquimistaytp.blogspot.com/2016/11/la-Alquimia.html</a> .	140
Consulta: 19-2-2018]. Disponible en: <a href="http://www.ritmanlibrary.com/">http://www.ritmanlibrary.com/</a> .	141
[Consulta: 9-2-2019]. Disponible en: <a href="https://es.wikipedia.org/wiki/Glenn_T._Seaborg">https://es.wikipedia.org/wiki/Glenn_T._Seaborg</a> .	149
[Consulta 2-04-2019]. Disponible en: <a href="https://es.123rf.com/photo_11074242_deportivo-estatua-de-bronce-de-hombres-con-una-mirada-anhelo-en-frente-de-las-columnas-griegas.html?fromid=RG1IUHNjZFhBMEhRN2UwZ2x2ZU9UUT09">https://es.123rf.com/photo_11074242_deportivo-estatua-de-bronce-de-hombres-con-una-mirada-anhelo-en-frente-de-las-columnas-griegas.html?fromid=RG1IUHNjZFhBMEhRN2UwZ2x2ZU9UUT09</a>	158
[Consulta 7-05-2019]. Disponible en: <a href="http://www.uchina.com.ar/blog/2008/04/28/historia-de-china-dinastia-shang-yin-1766-a-1122-ac/">http://www.uchina.com.ar/blog/2008/04/28/historia-de-china-dinastia-shang-yin-1766-a-1122-ac/</a> .	168
[Consulta: 20-10-2018]. Disponible en: <a href="http://en.wikipedia.org/wiki/Riace_bronzes">http://en.wikipedia.org/wiki/Riace_bronzes</a> .	176
[Consulta:28-10-2018]. Disponible en: <a href="http://www.mcnbiografias.com/app-bio/do/show?key=aristonidas">http://www.mcnbiografias.com/app-bio/do/show?key=aristonidas</a> .	178
[Consulta:30-11-2018]. Disponible en: <a href="https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1906/summary/">https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1906/summary/</a>	187
[Consulta: 12-10-2018]. Disponible en: <a href="http://www.wikipedia.org/wiki/George_Richards_Elkington">www.wikipedia.org/wiki/George_Richards_Elkington</a> .	183
[Consulta 7-05-2019]. Disponible en: <a href="http://www.aejonesboxes.co.uk/page50.htm">http://www.aejonesboxes.co.uk/page50.htm</a>	184
[Consulta:6-12-2018]. Disponible en: <a href="https://www.nobelprize.org/search/?s=Becquerel">https://www.nobelprize.org/search/?s=Becquerel</a>	191
[Consulta:15-12-2018]. Disponible en: <a href="https://es.wikipedia.org/wiki/Henry_Moseley">https://es.wikipedia.org/wiki/Henry_Moseley</a>	192
[Consulta: 16-8-2018]. Dispible en: <a href="https://es.wikipedia.org/wiki/Dinamo_(generador_eléctrico)">https://es.wikipedia.org/wiki/Dinamo_(generador_eléctrico)</a> .	217
[Consulta: 28-4-2019]. Disponible en: <a href="https://www.gasparini.com/es/blog/plegar-cobre-bronce-laton/">https://www.gasparini.com/es/blog/plegar-cobre-bronce-laton/</a> .	225
[Consulta 1-2-2018]. Disponible en: <a href="https://ia600508.us.archive.org/12/items/metalcolouringbr00hiorrich/metalcolouringbr00hiorrich.pdf">https://ia600508.us.archive.org/12/items/metalcolouringbr00hiorrich/metalcolouringbr00hiorrich.pdf</a>	235
[Consulta: 15-11-2018]. Disponible en: <a href="https://sites.google.com/site/leccionesdeforja/patinas-para-metales">https://sites.google.com/site/leccionesdeforja/patinas-para-metales</a> .	246

	<b>N° Cita</b>
[Consulta 2-05-2019]. Disponible en: <a href="https://www.sciencecompany.com/-W160.aspx#1">https://www.sciencecompany.com/-W160.aspx#1</a> .	<b>247</b>
Mosqueira, H. Análisis Químico: Marcha analítica de cationes y aniones. Universidad Nacional Cajamarca, Perú. 2018. Pp.6-9. [Consulta: 13-12- 2018] Disponible en: <a href="https://es.scribd.com/document/417413764/Marcha-Analitica-Fi">https://es.scribd.com/document/417413764/Marcha-Analitica-Fi</a>	<b>254</b>
[Consulta 15-05-2019]. Disponible en: <a href="https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/407207#section=2D-Structure">https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/407207#section=2D-Structure</a>	<b>258</b>
[Consulta 26-01-2019]. Disponible en: <a href="https://es.wikipedia.org/wiki/Marcha_analítica">https://es.wikipedia.org/wiki/Marcha_analítica</a>	<b>259</b>
[Consulta 15-02-2019]. Disponible en: <a href="https://es.wikipedia.org/wiki/Complejo_(qu%C3%ADmica)#Coloración_de_los_complejos">https://es.wikipedia.org/wiki/Complejo_(qu%C3%ADmica)#Coloración_de_los_complejos</a> .	<b>260</b>
Dissemination of IT for the Promotion of Materials Science (DoITPoMS). <i>The Nernst Equation and Pourbaix Diagrams</i> . University of Cambridge. 2018. [Consulta 3-06-2019]. Disponible en: <a href="https://www.doitpoms.ac.uk/tlplib/pourbaix/index.php">https://www.doitpoms.ac.uk/tlplib/pourbaix/index.php</a>	<b>275</b>
Pourbaix de Cu [Consulta 12-04-2019]. Disponible en: <a href="https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Pourbaix_diagrams">https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Pourbaix_diagrams</a>	<b>276</b>
[Consulta 24-05-2019]. Disponible en: <a href="https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6045/25Mtbp25de29.pdf?sequence=25">https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6045/25Mtbp25de29.pdf?sequence=25</a>	<b>277</b>
[Consulta 30-03-2019]. Disponible en: <a href="https://www.hsc-chemistry.com/webshop">https://www.hsc-chemistry.com/webshop</a>	<b>281</b>
[Consulta 3-01-2019]. Disponible en: <a href="https://www.eawag.ch/en/department/surf/projects/chemeql/">https://www.eawag.ch/en/department/surf/projects/chemeql/</a>	<b>282</b>
[Consulta 17-05-2019]. Disponible en: <a href="https://www.blogartesvisuales.net/disenografico/color/modelo-de-color-hsb/">https://www.blogartesvisuales.net/disenografico/color/modelo-de-color-hsb/</a>	<b>296</b>
[Consulta 17-05-2019]. Disponible en: <a href="https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Colorcube-1.png">https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Colorcube-1.png</a>	<b>297</b>
[Consulta 17-05-2019]. Disponible en: <a href="https://es.wikipedia.org/wiki/Espacio_de_color_Lab">https://es.wikipedia.org/wiki/Espacio_de_color_Lab</a>	<b>298</b>



## 9. GLOSARIO DE TERMINOS

Este epígrafe no tiene otra intención que la de facilitar la comprensión de algunos términos, que si bien pueden estar definidos a lo largo del trabajo, pueden ayudar a su interpretación más directa.

Adepto	Alquimista que por sí mismo ha elaborado la Piedra Filosofal
Afinidad electrónica	Energía liberada cuando un átomo gaseoso neutro en su estado fundamental captura un electrón y forma un ion mononegativo
Aleación	Mezcla sólida homogénea de dos o más metales, o de uno o más metales con algunos elementos no metálicos, preparados por mezcla de los compuestos fundidos que al enfriarse resulta un sólido con propiedades metálicas
Alquimia	Doctrina y estudio experimental de los fenómenos [químicos] que se desarrolló desde la Antigüedad y a lo largo de la época medieval y que pretendía descubrir los elementos constitutivos del universo, la transmutación de los metales, el elixir de la vida [longevidad]
Alquimista	Quien practica la Alquimia
Ambiplasma	Teoría que intenta explicar el desarrollo del universo visible a través de la interacción de fuerzas electromagnéticas en plasma astrofísico
Aparejo	Tiene la función de aislar el soporte. Generalmente formado por sucesión de capas; la más interna es un apresto de material orgánico que actúa como capa de sellado y suele estar cubierta por otros estratos con materiales de carga, como yeso o carbonato cálcico, con objeto de nivelar la superficie. Esta secuencia puede rematarse con una nueva capa de cola animal o de aceite secante que disminuirá la capacidad de absorción de esta superficie porosa
Atanor	El propio cuerpo humano utilizado como "horno filosófico" para realizar la Obra alquímica mayor
Atomo	Porción material menor de un elemento químico que interviene en las reacciones químicas y posee las propiedades características de dicho elemento
Ayurveda	Nombre de la medicina tradicional de la India, basada en la unificación de cuerpo-mente y espíritu
Big Bang	Modelo cosmológico predominante para los períodos conocidos más antiguos del universo y su posterior evolución a gran escala
Calcolítico	Período prehistórico, posterior al Neolítico y anterior a la Edad del Bronce, que se caracteriza por la utilización del cobre en utensilios y armas
Calcosina	Mineral de sulfuro de cobre
Cámara de envejecimiento	permiten realizar ensayos de envejecimiento acelerado o degradación solar para medir su resistencia
Cardenillo	Acetato de cobre de color verdoso que se forma sobre los objetos de cobre o sus aleaciones por la acción del medio ambiente
Catalizador	Sustancia química que, con su sola presencia, facilita que se produzca una determinada reacción química sin que el mismo aparentemente intervenga en la reacción. De uso habitual en los procesos industriales.
Cerámica	Arte de fabricar objetos de porcelana, loza y barro
Civilización minoica	Primera civilización europea de la Edad del Cobre y del Bronce aparecida en la isla de Creta
Colada	Acción de vertido de un metal fundido en un molde
Culto sincrético	Intento de conciliar doctrinas
Cuprita	Forma mineral del óxido cuproso, $Cu_2O$
Decapado	Tratamiento superficial de metales que se utiliza para eliminar impurezas
Diagrama de Pourbaix	Traza un equilibrio estable en las fases de un sistema electroquímico acuoso
Diamagnético	Propiedad de los metales que consiste en repeler los campos magnéticos

Dimerización	Dos moléculas iguales se unen formando una nueva molécula que es justo el doble de las otras dos
Dinamo	Máquina destinada a transformar la energía mecánica en energía eléctrica, por inducción electromagnética, debida a la rotación de cuerpos conductores en un campo magnético
Efecto Zeeman	Consecuencia de los campos magnéticos sobre las radiaciones luminosas, que desdoblan las rayas espectrales
Electrolisis	Descomposición en iones de una sustancia en disolución mediante la corriente eléctrica
Elixir de la vida	Legendaria bebida, derivada de la Piedra Filosofal, que garantizaría la longevidad y hasta la vida eterna
Encastrado	Unión de dos o más metales para resaltar el distinto color de cada uno de ellos
Enlace químico	Modo de unión entre dos o más elementos o moléculas, que pueden ser de tres tipos: iónico, homopolar o metálico.
Enrique el Lento	Horno común que permite llevar a cabo en él toda la Obra alquímica menor.
Equivalente electroquímico	Cantidad de sustancia que se deposita o se desprende en una célula electrolítica cuando circula durante un segundo una corriente de un amperio
Espectro	Conjunto de radiaciones que emite un elemento cuando se le excita con aportación de energía.
Estequiometría	cálculo de las relaciones cuantitativas entre los reactivos y productos en el transcurso de una reacción química
Everdur	Bronce con contenido de Cu-Si-Mn en porcentajes 96-4-1
Galvanoplastia	Producción o reproducción de objetos por depósito electrolítico
Galvanostegia	Arte de recubrir, por electrólisis, un metal con una delgadísima capa de otro de mejor calidad y aspecto
Grata	Cepillo con cerdas de bronce utilizada para desbastar superficies sucias
Historia	Período de la humanidad a partir de la aparición de la escritura
Imprimación	Es la capa que va a estar en contacto con la pintura y tiene un color determinado, elegido voluntariamente por el artista. Generalmente está realizada al óleo y sirve también para impermeabilizar el aparejo, evitando así que la pintura muestre un aspecto mate. También es posible pintar directamente sobre el aparejo sin colorear
Hitita	Pueblo de la Antigüedad (siglo XVIII a.C.) asentado en la península de Anatolia (hoy Turquía), que tuvo por capital Hattusa
Isótopo	Variedades nucleares de un mismo elemento que teniendo en el núcleo el mismo número de protones difieren en el número de neutrones
Kuromido	Aleación japonesa de cobre (>90%) y arsénico (<10%)
Manos estarcidas	Estampación del dibujo de las manos haciendo pasar color con un instrumento adecuado (p.e. hueso hueco), a través de los dedos y perímetro de la mano
Mena	Mezcla arcillosa que contiene algún mineral
Niuro	Pátina tradicional japonesa, de composición secreta
Molécula	Agrupación definida y ordenada de átomos que constituye la porción más pequeña de una sustancia pura y conserva todas sus propiedades
Oro filosófico	Los Alquimistas buscaban la perfección en el oro filosófico, que suponía la perfección de la materia y del espíritu, y por lo que consideraban el oro común solo como un arquetipo ya que el oro era el más perfecto de los metales, pero no absolutamente perfecto.
Paleolítico	El más antiguo de los períodos prehistóricos, anterior al mesolítico, caracterizado por la fabricación y utilización de herramientas de piedra tallada, la práctica de la depredación (caza, pesca y recolección), el nomadismo y la aparición de las primeras manifestaciones artísticas, como son las pinturas rupestres y las esculturas de piedra o hueso
Paramagnético	Propiedad de los metales de ser atraídos por los campos magnéticos
Período Védico	Comprende el espacio histórico-temporal desarrollado entre los años 1500 a. C. y 300 a. C. por el cual pasaron las civilizaciones asentadas en el río Indo, que poblaron y conformaron lo que hoy conocemos como India
Pintura rupestre	Representaciones gráficas y dibujos que se encuentran plasmados sobre rocas o cavernas y que fueron realizados en la prehistoria

Polvo de proyección	Derivado de la Piedra Filosofal que se le asignaba la propiedad de la transmutación de algunos metales en oro o plata, lo que constituía la demostración fehaciente de haber llegado el adepto al final de la Gran Obra
Potencial de electrodo	Potencial que adquiere un electrodo en contacto con una solución de sus iones a 25° C.
Prehistoria	Período de la historia de la humanidad que comprende desde el origen del hombre hasta la aparición de los primeros testimonios escritos
Preparación	Denominación moderna que hace referencia al conjunto de capas que se aplican sobre el soporte para poder pintar en él. Esta preparación comprende tanto el aparejo como la imprimación
Probeta	Muestra de cualquier sustancia o material para probar su comportamiento
Procedimiento	Método a seguir para ejecutar una acción
Rayo	Porción de cualquier forma de energía radiante que se propaga en línea recta
Receta química	Procedimiento adecuado para hacer una composición que produzca un determinado efecto sobre un soporte
Shakudo	Aleación japonesa de cobre y oro, con contenido en oro entre 0,5% y 5%
Sincrético	Dícese del culto que intenta conciliar doctrinas distintas, como eran la egipcia y la helénica
Sistema Periódico	Disposición de los elementos químicos en forma de tabla, ordenados por su número atómico, por su configuración de electrones y sus propiedades químicas
Serie electroquímica	Ordenación de los elementos químicos según sus potenciales normales referidos al del electrodo normal de hidrógeno que se toma como cero.
Soporte	Cualquier materia apta para ser utilizada en técnicas artísticas
Soxlet	Aparato de laboratorio, generalmente de vidrio, utilizado para destilar y concentrar aceites esenciales
Shibuichi	Aleación japonesa de cobre y plata
Tiara	Corona decorada con cuernos de toro en las civilizaciones mesopotámicas
Tinita	Pueblo politeísta del Período Arcaico de Egipto (c. 3100-2686 a. C.), que tuvo su capital en Tinis
Valencia	Número de electrones que le faltan o debe ceder un elemento químico para completar su último nivel de energía
Verdigris	Acetato de cobre de color verdoso que se forma sobre los objetos de cobre o sus aleaciones por la acción del medio ambiente
Yudokobuki	Técnica japonesa de fundición de bronce sobre molde de tela inmersa en agua



## 10. DIRECTORIO DE CASAS COMERCIALES

En este epígrafe se recopilan los datos correspondientes a los principales proveedores de materiales y productos químicos, para facilitar el camino a quienes se interesen por aplicar los resultados obtenidos en este trabajo de investigación aplicada y a aquellas personas que inicien investigaciones específicas o complementarias que pudieran estar relacionadas con el mismo.

### **ALEC TIRANTI**

Tienda especializada en productos para escultura  
27 Warren St, Fitzrovia, London W1T 5NB, United Kingdom. Tel. +44 20 7380 0808  
Página web: [www.tiranti.co.uk](http://www.tiranti.co.uk)

### **AZUL DE CADMIO- BACO BELLAS ARTES**

Suministros de productos para Bellas Artes  
Calle Lanuza 11, 28028 Madrid. Teléfono: +34 910 349 172  
Página web: [www.bacobellasartes.com](http://www.bacobellasartes.com)

### **BELLAS ARTES JECCO**

Suministros de productos para Bellas Artes  
Calle de Pelayo, 38, LOCAL, 28004 Madrid. Teléfono: 913 19 96 90  
Página web: [www.bellasartesjeco.com](http://www.bellasartesjeco.com)

### **COMERCIAL PAZOS**

Maquinaria para la madera  
Calle Embajadores 129, 28045 Madrid. Teléfono: +34 91 467 62 65  
Página Web: [www.comercialpazos.com](http://www.comercialpazos.com)

### **DROGUERIA EL BARCO**

Productos químicos  
Carrer de la Reina, 31, 46800 Xàtiva, Valencia. Teléfono: +34 962 27 11 13  
Página Web: [www.drogueriaelbarco.com](http://www.drogueriaelbarco.com)

### **ELECTRONICA EMBAJADORES**

Material electrónico y fuentes de alimentación  
Calle Embajadores, 138, 28045, Madrid. Teléfono: +34 914737482  
Página web: [www.electronicaembajadores.com](http://www.electronicaembajadores.com)

### **EI MOLINO**

Mármoles y áridos  
Av. de María Garcini, 44, 28860. Paracuellos de Jarama, Madrid. Teléfono: +34 913 16 20 11  
Página web: [www.elmolinomarmoles.es](http://www.elmolinomarmoles.es)

### **EMBALAJES RINCON**

Maderas

Calle la Florida, 18, 28670 Villaviciosa de Odón, Madrid. Teléfono: +34 91 616 16 05

Página web: [www.embalajesrincon.com](http://www.embalajesrincon.com)

### **FEROCA**

Productos para moldeo.

Calle de El Españolito, 11, 28010 Madrid. Teléfono: +34 91 448 12 71.

Página web: [www.feroca.com](http://www.feroca.com)

### **FERRETERIA DEL OLMO**

Ronda de Segovia, 4 Dup, 28005 Madrid. Teléfono: +34 915 21 14 88

Chapas de cobre, latón y aluminio

Página web: <https://ferreteriadelolmo.es>

### **FORM X**

Materiales para diseño 3D.

Calle Ruiz Palacios 11 Nave planta baja, 28039 Madrid. Teléfono: +34 91 513 51 11.

Página web: [www.formx.es](http://www.formx.es)

### **GRABADOONLINE**

Chapas de cobre y zinc. Suministros para grabado

Calle de Torremolinos, 12, 28018 Madrid. Teléfono: +34 91 182 53 91

Página web: [www.grabadonline.com](http://www.grabadonline.com)

### **HIERROS SEGOVIA**

Chapas de acero

Calle de Méndez Álvaro, 15, 28045 Madrid. Teléfono: +34 915 28 62 18

Página web: [www.hierrossegovia.com](http://www.hierrossegovia.com)

### **LABOQUIMIA**

Material de laboratorio

Avda. de Juan Carlos I, 24, 26140 Lardero, La Rioja. Teléfono: +34 902 193 170

Página web: [www.laboquimia.es](http://www.laboquimia.es)

### **MANUEL RIESGO**

Productos químicos y material de laboratorio

Calle del Desengaño, 22, 28004 Madrid. Teléfono: +34 915 21 61 34

Página web: [www.manuelriesgo.com](http://www.manuelriesgo.com)

### **MODEL CRAFT**

Chapa de bronce fosforoso

Compra vía internet, de origen australiano.

Página Web: [www.amazon.es/Modelcraft-Fósforo-Bronce-Chapa-150](http://www.amazon.es/Modelcraft-Fósforo-Bronce-Chapa-150)

**PALAB**

Material de laboratorio

Av. Príncipe de Asturias, 108, 28670 Villaviciosa de Odón, Madrid. Teléfono: +34 658 76 82 04

Página Web: [www.pelab.com.es](http://www.pelab.com.es)

**PLASTIFOM**

Elastómeros y resinas de poliéster.

Calle Estrecho de Gibraltar, 13, 28027 Madrid. Teléfono: +34 91408 36 00

Página web: [www.tiendaonlineplastiform.es](http://www.tiendaonlineplastiform.es)

**PRODUCTOS DE CONSERVACION, S.A.**

Suministros para conservación y restauración

Calle Almadén, 5, 28014 Madrid; Teléfono: +34 913 694 205

Página web: [www.productosdeconservacion.com](http://www.productosdeconservacion.com)

**RESOPAL**

Suministros plásticos

Calle de Cronos, 14, 28037 Madrid. Teléfono: +34 91 327 04 14

Página web: [www.resopal.com](http://www.resopal.com)

**SCULPTURE NOUVEAU**

Patinas comerciales y acabados de metales

1155 Industrial Ave. Escondido, CA 92029. Tel.+1 760-432-8242

Página web: <https://sculptnouveau.com>

**THE COMPLEAT SCULPTOR**

110 West 19th Street Lower Level, New York, NY 10011, United States. Tel. +1 212-243-6074

Página web: [www.sculpt.com](http://www.sculpt.com).

**VERAREN**

Productos de construcción y cementos especiales

Calle Blasco de Garay, 65, 28003 Madrid. Teléfono: +34 915334519

Página web: <http://www.grupoveralia.com>



## INDICE: TABLAS Y FIGURAS

### Tablas

Tabla 1. Datación de restos arqueológicos del hombre primitivo .....	30
Tabla 2. Datación de restos arqueológicos con huellas de manos .....	31
Tabla 3. Dataciones de restos arqueológicos de Venus .....	36
Tabla 4. Longevidad de algunos alquimistas .....	73
Tabla 5. Fechas y autores de los descubrimientos de los elementos químicos .....	119
Tabla 6. Potenciales Normales del Electrodo de algunos elementos .....	135
Tabla 7. Orden de llenado de los electrones en el átomo .....	151
Tabla 8. Configuración electrónica de algunos elementos .....	153
Tabla 9. Potencial de ionización de algunos elementos .....	156
Tabla 10. Escala Mulliken .....	158
Tabla 11. Composición de algunas aleaciones del cobre .....	170
Tabla 12. Equivalentes electroquímicos de elementos metálicos .....	179
Tabla 13. Recetas para el GRIS .....	183
Tabla 14. Recetas para el BLANCO .....	183
Tabla 15. Recetas para color NEGRO (I) .....	184
Tabla 16. Recetas para color NEGRO (II) .....	185
Tabla 17. Recetas para color AZUL (I) .....	186
Tabla 18. Recetas para color AZUL (II) .....	186
Tabla 19. Recetas para color NARANJA .....	188
Tabla 20. Recetas para color ROJIZO .....	189
Tabla 21. Recetas para color OCRE .....	190
Tabla 22. Recetas para color VERDE (I) .....	191
Tabla 23. Recetas para color VERDE (II) .....	191
Tabla 24. Recetas para color VERDE (III) .....	192
Tabla 25. Recetas para color AMARILLO .....	192
Tabla 26. Recetas japonesas .....	193
Tabla 27. Lista de productos químicos .....	194
Tabla 28. Compuestos designados de acuerdo con su color .....	205
Tabla 29. Colores de sales en Química Analítica .....	210
Tabla 30. Ejemplos de colores de algunos complejos químicos .....	211
Tabla 31. Colores de sales de metales .....	211
Tabla 32. Soluciones decapantes .....	225
Tabla 33. Colores resultantes con recetas reportadas para BLANCO .....	262
Tabla 34. Colores resultantes con recetas reportadas para GRIS .....	262
Tabla 35. Colores resultantes con recetas reportadas para NEGROS (I) .....	263
Tabla 36. Colores resultantes con recetas reportadas para NEGROS (II) .....	264
Tabla 37. Colores resultantes con recetas reportadas para NEGROS (III) .....	265
Tabla 38. Colores resultantes con recetas reportadas para AZULES (I) .....	266
Tabla 39. Colores resultantes con recetas reportadas para AZULES (II) .....	267
Tabla 40. Colores resultantes con recetas reportadas para AZULES (III) .....	268

Tabla 41. Colores resultantes con recetas reportadas para AZULES (IV) .....	269
Tabla 42. Colores resultantes con recetas reportadas para MARRON (I).....	270
Tabla 43. Colores resultantes con recetas reportadas para MARRON (III).....	271
Tabla 44. Colores resultantes con recetas reportadas para MARRON (II).....	272
Tabla 45. Colores resultantes con recetas reportadas para ANARANJADO.....	273
Tabla 46. Colores resultantes con recetas reportadas para ROJIZO (I).....	274
Tabla 47. Colores resultantes con recetas reportadas para ROJIZO (II).....	275
Tabla 48. Colores resultantes con recetas reportadas para AMARILLO .....	276
Tabla 49. Colores resultantes con recetas reportadas para OCRE (I) .....	277
Tabla 50. Colores resultantes con recetas reportadas para OCRE (II) .....	278
Tabla 51. Colores resultantes con recetas reportadas para VERDE (I) .....	279
Tabla 52. Colores resultantes con recetas reportadas para VERDE (II) .....	280
Tabla 53. Colores resultantes con recetas reportadas para VERDE (III) .....	281
Tabla 54. Colores resultantes con recetas reportadas para VERDE (IV).....	282
Tabla 55. Colores resultantes con recetas reportadas para VERDE (V).....	283
Tabla 56. Colores resultantes con recetas reportadas para VERDE (VI).....	284
Tabla 57. Colores resultantes de recetas históricas japonesas .....	285
Tabla 58. Composición química del metal base de probetas de bronce atacadas .....	286
Tabla 59. Sales detectadas en pátinas tradicionales .....	299
Tabla 60. Recetas de pre-pátinas y resultados iniciales que aportan.....	300
Tabla 61. Mediciones de color de probetas antes y después de envejecimiento (I).....	347
Tabla 62. Mediciones de color de probetas antes y después de envejecimiento (II).....	348
Tabla 63. Mediciones de color de probetas antes y después de envejecimiento (III).....	349
Tabla 64. Mediciones de color de probetas antes y después de envejecimiento (IV) .....	350
Tabla 65. Mediciones de color de probetas antes y después de envejecimiento (V) .....	351
Tabla 66. Identificación de las recetas utilizadas por metal y color .....	353
Tabla 67. Selección de recetas para una paleta de color para distintos soportes .....	360
Tabla 68. Carga promedia en probetas de madera con aplicación en masa de bronce.....	369
Tabla 69. Carga promedia en probetas de madera con aplicación en masa de cobre.....	370
Tabla 70. Carga promedia en probetas de madera con aplicación en masa de latón.....	371
Tabla 71. Carga promedia en probetas de madera con aplicación en masa de zinc .....	372
Tabla 72. Carga promedia en probetas de madera con aplicación en masa de estaño .....	373
Tabla 73. Carga promedia en probetas de madera con aplicación en masa de grafito.....	374
Tabla 74. Carga promedia en probetas de madera por espolvoreo de bronce .....	375
Tabla 75. Carga promedia en probetas de madera por espolvoreo de cobre .....	376
Tabla 76. Carga promedia en probetas de madera por espolvoreo de latón.....	377
Tabla 77. Carga promedia en probetas de madera por espolvoreo de hierro .....	378
Tabla 78. Matriz de colores por Metal y Recetas seleccionadas para probetas de tejidos .....	404

## Figuras

Figura 1. Esquema temporal de la Prehistoria e Historia.....	21
Figura 2. Cronograma de los primeros habitantes según Génesis.....	22
Figura 3. Restos arqueológicos del hombre de Beijin.....	28
Figura 4. Figuras en La Pasiéga (Imagen: P. Saura).....	32
Figura 5. Manos de Maltravieso (Imagen: H. Collado).....	32
Figura 6. Manos estarcidas en diversos lugares del mundo.....	33
Figura 7. Pinturas rupestres.....	34
Figura 8. Venus talladas.....	35
Figura 9. Otros ejemplos de arte primitivo.....	37
Figura 10. Piezas de oro encontradas en Solnitsata, Bulgaria.....	38
Figura 11. Vasija japonesa.....	38
Figura 12. Tablillas cuneiformes.....	40
Figura 13. Edades de los principales Patriarcas Bíblicos.....	45
Figura 14. Mutus Liber.....	46
Figura 15. Objetos antiguos de cobre.....	49
Figura 16. Vasija cerámica de reducción.....	50
Figura 17. Doble hacha de bronce. Civilización Minoica.....	51
Figura 18. Cuchillas de hierro.....	53
Figura 19. Soldados de terracota.....	54
Figura 20. Teoría de los cuatro elementos y sus cualidades.....	57
Figura 21. La red de Ariadna.....	61
Figura 22. Laboratorio Alquímico.....	70
Figura 23. Giphantie.....	76
Figura 24. De Diversis Artibus.....	77
Figura 25. Venus de Gibson y Atleta griego.....	88
Figura 26. Vasija en bronce para rituales (Dinastía Shang).....	94
Figura 27. Estatuas A y B.....	96
Figura 28. Trabajo en bronce de.....	98
Figura 29. Esquema del tubo de Crookes.....	100
Figura 30. Esquema del experimento de Thomson.....	101
Figura 31. Esquema y Cámara del experimento de Millikan.....	101
Figura 32. Esquema del experimento de Rutherford.....	104
Figura 33. Esquema del tubo Crooks.....	106
Figura 34. Bandas de líneas espectrales.....	107
Figura 35. Esquema del tubo de rayos canales.....	109
Figura 36. Resultado de la espectroscopía.....	110
Figura 37. Principio de la espectroscopía.....	110
Figura 38. Espectro del hidrógeno.....	111
Figura 39. Serie espectral del Hidrógeno.....	112
Figura 40. Ley de las triadas de Döbereiner.....	113
Figura 41. Ley de las Octavas de Newlands.....	114
Figura 42. Tabla Periódica de los Elementos.....	118

Figura 43. Esquemas sobre presión electrolítica de disolución .....	127
Figura 44. Esquemas sobre Potencial de Electrodo .....	128
Figura 45. Potencial de Electrodo .....	130
Figura 46. Diagrama de Pourbaix para el Agua (25°C y 1 atm.).....	136
Figura 47. Movimiento del electrón .....	140
Figura 48. Esquema de transición del electrón .....	141
Figura 49. Esquema de las órbitas energéticas del electrón .....	142
Figura 50. Esquema de emisiones espectrales del átomo de sodio .....	143
Figura 51. Esquema de orbitales .....	144
Figura 52. Esquema de las formas de los orbitales .....	145
Figura 53. Esquema de los subniveles energéticos.....	146
Figura 54. Esquema de posicionamiento espacial del electrón .....	147
Figura 55. Esquemas del spin de los electrones .....	148
Figura 56. Variación del radio atómico según Periodo y Grupo.....	154
Figura 57. Variación del potencial de ionización según Periodo y Grupo.....	156
Figura 58. Variación de la afinidad electrónica según periodo y grupo .....	157
Figura 59. Tabla Periódica de la electronegatividad en la escala Pauling.....	158
Figura 60. Esquema de compuesto iónico .....	164
Figura 61. Estructura del enlace metálico .....	167
Figura 62. Movilidad electrónica en el enlace metálico.....	167
Figura 63. Modelo de Pauling para el enlace metálico .....	168
Figura 64. Esquema de absorción y reflexión de la luz .....	169
Figura 65. Estructura de las aleaciones.....	170
Figura 66. Arbol de las aleaciones del cobre .....	172
Figura 67. Perfiles analíticos de probetas de bronce y latón .....	173
Figura 68. Esquema de cuba para EDM.....	175
Figura 69. Distribución de recetas por metal y color aportado.....	182
Figura 70. Participación de productos químicos en recetas .....	196
Figura 71. Participación de productos químicos por colores en las recetas .....	197
Figura 72. Proceso de absorción y emisión de energía por llama .....	199
Figura 73. Mechero Bunsen.....	200
Figura 74. Colores en ensayos a la llama.....	201
Figura 75. Efecto de los ligandos sobre el color en derivados del cobalto .....	205
Figura 76. Estructura de la sal de Erdmann.....	206
Figura 77. Color y estructura molecular del cobalto con ligandos .....	206
Figura 78. Medidas de seguridad.....	214
Figura 79. Producción de recetas químicas .....	217
Figura 80. Elaboración de recetas químicas.....	217
Figura 81. Material vario y recetas .....	218
Figura 82. Celda electrolítica.....	218
Figura 83. Útil para taladrar y probetas varias en paneles .....	219
Figura 84. Proceso de imprimación de probetas de madera .....	220
Figura 85. Aplicación de cargas de bronce.....	221
Figura 86. Resultado sobre probeta de madera .....	222

Figura 87. Preparación de probetas de tejido de fibra natural .....	223
Figura 88. Proceso de pretratamiento de probetas.....	224
Figura 89. Proceso de aplicación de pátina base .....	227
Figura 90. Probetas de Bronce, Cobre y Latón con pátina base de SK2 .....	228
Figura 91. Probetas de Zinc, Hierro y Aluminio con pátina base de SK2 .....	228
Figura 92. Panel con probetas 1-5 .....	231
Figura 93. Panel con probetas 6-11 .....	232
Figura 94. Panel con probetas 11-19 .....	233
Figura 95. Panel con probetas 20-24 .....	234
Figura 96. Panel con probetas 25-29 .....	235
Figura 97. Panel con probetas 30-34 .....	236
Figura 98. Panel con probetas 35-38* .....	237
Figura 99. Panel con probetas 39-43 .....	238
Figura 100. Panel con probetas 44-48 .....	239
Figura 101. Panel con probetas 49-53 .....	240
Figura 102. Panel con probetas 54-59 .....	241
Figura 103. Panel con probetas 60-64 .....	242
Figura 104. Panel con probetas 65-69 .....	243
Figura 105. Panel con probetas 70-74 .....	244
Figura 106. Panel con probetas 75-79 .....	245
Figura 107. Panel con probetas 80-84 .....	246
Figura 108. Panel con probetas 85-89 .....	247
Figura 109. Panel con probetas 90-94 .....	248
Figura 110. Panel con probetas 95-99 .....	249
Figura 111. Panel con probetas 100-104 .....	250
Figura 112. Panel con probetas 105-109 .....	251
Figura 113. Panel con probetas 110-114 .....	252
Figura 114. Panel con probetas 115-119 y 00 .....	253
Figura 115. Panel con probetas 200- 220 .....	254
Figura 116. Panel con probetas 221-242 .....	255
Figura 117. Paneles con probetas 243-503 .....	256
Figura 118. Panel con probetas 450 - 468 .....	257
Figura 119. Panel de probetas con recetas japonesas .....	258
Figura 120. Etapas del proceso de trabajo con recetas japonesas .....	260
Figura 121. Prueba comparativa de vinagres .....	260
Figura 122. Utilización de soplete en una probeta .....	289
Figura 123. Diagramas de equilibrio sistema Cobre-Agua a 25°C.....	292
Figura 124. Diagrama de equilibrio del sistema Zic-Agua a 25°C.....	293
Figura 125. Diagrama de equilibrio para el sistema Aluminio-Agua a 25°C .....	294
Figura 126. Diagrama de equilibrio para el sistema Hierro-Agua a 25°C .....	294
Figura 127. Diagramas de Pourbaix simplificados por áreas de corrosión a 25°C .....	295
Figura 128. Cocodrilo de bronce .....	297
Figura 129. Ensayos de reacciones de sustitución del Cu <sup>++</sup> .....	302
Figura 130. Colores obtenidos con reacciones de sustitución del Cu <sup>++</sup> .....	303

Figura 131. Reacción de sustitución del Fe+++ .....	304
Figura 132. Deposición de cobre sobre probetas de madera con cargas de zinc .....	305
Figura 133. EDM en célula electrolítica con Cu++ .....	306
Figura 134. Anodo de cobre con cobre depositado en probetas de cobre, aluminio y grafito .....	308
Figura 135. Pruebas de patina blanca .....	310
Figura 136. Reacción de desplazamiento de otros cationes con Ba++ .....	311
Figura 137. Etapas seguidas con la Probeta F455 .....	312
Figura 138. Precipitado blanco sobre probetas F452 y C453 .....	313
Figura 139. Ensayo de producción de azul de Prusia y aplicación a probeta 451 .....	314
Figura 140. Probeta F468 .....	315
Figura 141. Ensayo para color azul verdoso .....	316
Figura 142. Proceso de generación de color azul .....	317
Figura 143. Probetas C466 y C467 .....	318
Figura 144. Obtención de color amarillo tostado sobre Hierro .....	319
Figura 145. Color amarillo del Cromato de Cadmio .....	320
Figura 146. Probeta B460 .....	321
Figura 147. Amarillos de cromato de plomo .....	323
Figura 148. Color rojizo producido con aspirina .....	323
Figura 149. Color violeta/amarillo producido con aspirina .....	324
Figura 150. Sistema Cu – Cl – H <sub>2</sub> O .....	325
Figura 151. Proceso de calentamiento al rojo vivo para producir cuprita .....	326
Figura 152. Probetas con cuprita roja .....	326
Figura 153. Primeros ensayos del pincel electrolítico sobre algunos soportes .....	327
Figura 154. Primer prototipo de pincel electroquímico .....	328
Figura 155. Bocetos de pinceles electrolíticos .....	328
Figura 156. Prototipos de pinceles electroquímicos .....	329
Figura 157. Ensayos de conductividad .....	330
Figura 158. Probetas de Hierro con electrodepósito de cobre .....	331
Figura 159. Agentes protectores .....	332
Figura 160. Probetas atacadas y reordenadas .....	333
Figura 161. Cámara de envejecimiento .....	334
Figura 162. Prueba de envejecimiento con agentes pasivantes .....	335
Figura 163. Sistema HSB .....	337
Figura 164. Sistema RGB .....	337
Figura 165. Sistema CIELab .....	338
Figura 166. Paneles de probetas de bronce y cobre para cámara de envejecimiento (5-52) .....	340
Figura 167. Paneles de probetas de bronce y cobre para cámara de envejecimiento (53-90) .....	341
Figura 168. Paneles de probetas de bronce y cobre para cámara de envejecimiento (91-118) .....	342
Figura 169. Paneles de probetas de bronce y cobre para cámara de envejecimiento (120-240) .....	343
Figura 170. Cámara de Envejecimiento .....	344
Figura 171. Ejemplos de toma de datos de color con sistema CMYK .....	345
Figura 172. Paleta de colores sobre probetas de BRONCE .....	354
Figura 173. Paleta de colores sobre probetas de COBRE .....	355
Figura 174. Paleta de colores sobre probetas de LATON .....	356

Figura 175. Paleta de colores sobre probetas de ZINC.....	357
Figura 176. Paleta de colores sobre probetas de HIERRO .....	358
Figura 177. Paleta de colores sobre probetas de ALUMINIO.....	359
Figura 178. Paleta de color obtenida con las recetas seleccionadas .....	361
Figura 179. Estructura de las pinturas e incidencias de las distintas radiaciones en su examen.....	364
Figura 180. Soporte de acero con recubrimiento de cobre .....	365
Figura 181. Probetas de madera con recubrimiento de gesso y cargas de polvo metálico.....	368
Figura 182. Probetas de madera con gesso y pintura comercial de cobre .....	368
Figura 183. Probetas de telas con resina poliéster con polvo metálico (bronce y cobre).....	379
Figura 184. Probetas de lino preparadas con pintura comercial de cobre y de bronce.....	380
Figura 185. Probetas de madera con carga de grafito y resina alquídica.....	381
Figura 186. Probetas de tejido natural (algodón) y de madera con EDM (cobre).....	382
Figura 187. Soportes de acero con recubrimiento de cobre .....	383
Figura 188. Soporte de chapa de Zinc.....	383
Figura 189. Tejido sintético imprimado con polvo de cobre y bronce (pintura comercial) .....	384
Figura 190. Preparación de tejido de algodón con polvo de bronce en masa .....	384
Figura 191. Etapas para preparar un tejido con polvo de bronce y resina de poliéster .....	385
Figura 192. Tabla entelada con cola de conejo y carga de hierro sobre primal .....	385
Figura 193. Procedimiento empleado para obtener un soporte de un paisaje modelado con arcilla .....	386
Figura 194. Soporte de relieve de paisaje .....	387
Figura 195. Soportes varios .....	388
Figura 196. Proceso seguido para elaborar el soporte de la escultura Gemelos .....	389
Figura 197. Proceso seguido en la escultura Osa y Osezno .....	390
Figura 198. Proceso para el Relieve de Toro .....	391
Figura 199. Proceso para la escultura Cabeza de perro .....	392
Figura 200. Probetas de madera con cargas de metal (para Recetas 5 a 46) .....	394
Figura 201. Probetas de madera con cargas de metal (para Recetas 48 a 75) .....	395
Figura 202. Probetas de madera con cargas de metal (para Recetas 76 a 155) .....	396
Figura 203. Probetas de madera con cargas de metal (para Recetas 161 a 500) .....	397
Figura 204. Probetas de madera con cargas de metal (para Recetas 500 y 501) .....	398
Figura 205. Panel con probetas de madera 5 a 48 después de aplicar recetas .....	399
Figura 206. Panel con probetas de madera 48 a 80 después de aplicar recetas .....	400
Figura 207. Panel con probetas de madera 81-161 después de aplicar recetas.....	401
Figura 208. Panel con probetas de madera 162-501 después de aplicar recetas.....	402
Figura 209. Probetas de tejido vegetal de lino después de aplicar recetas seleccionadas .....	405
Figura 210. Dibujo con sulfato y nitrato de cobre sobre chapa de zinc .....	407
Figura 211. Retrato de Doña Pepita .....	408
Figura 212. Pintura sobre lino con carga de polvo de bronce sobre poliéster .....	409
Figura 213. Pintura sobre madera con carga de polvo de bronce .....	410
Figura 214. Pintura sobre madera entelada con algodón con carga de polvo de hierro .....	411
Figura 215. Gemelos.....	412
Figura 216. Osa y osezno .....	413
Figura 217. Relieve de toro.....	414
Figura 218. Cabeza de perro (Beagle).....	415

Figura 219. Relieve de paisaje.....	416
Figura 220. Ejemplos de paletas parciales obtenidas con recetas aplicadas a distintos metales .....	445