

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE ODONTOLOGÍA

Departamento de Estomatología I (Prótesis Bucofacial)



TESIS DOCTORAL

Estudio comparativo in vitro sobre las características físicas y mecánicas de tres materiales provisionales, para su uso en prótesis dental

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR

PRESENTADA POR

Mónica Zafra Vallejo

Directores

Alicia Celemín Viñuela
Miguel Gómez Polo

Madrid, 2016

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD ODONTOLOGÍA

**Departamento de Estomatología I
(Prótesis Bucofacial)**



**ESTUDIO COMPARATIVO *IN VITRO* SOBRE LAS
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y MECÁNICAS DE TRES
MATERIALES PROVISIONALES, PARA SU USO EN
PRÓTESIS DENTAL**

**MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR
PRESENTADA POR**

Mónica Zafra Vallejo

Bajo la dirección de los doctores

Alicia Celemín Viñuela
Miguel Gómez Polo

Madrid, 2015



UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
FACULTAD DE ODONTOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE ESTOMATOLOGÍA I
PRÓTESIS BUCOFACIAL

**ESTUDIO COMPARATIVO *IN VITRO* SOBRE
LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y
MECÁNICAS DE TRES MATERIALES
PROVISIONALES, PARA SU USO EN
PRÓTESIS DENTAL**

**TESIS DOCTORAL
MÓNICA ZAFRA VALLEJO**

Madrid, 2015

**ESTUDIO COMPARATIVO *IN VITRO* SOBRE LAS
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y MECÁNICAS DE TRES
MATERIALES PROVISIONALES, PARA SU USO EN
PRÓTESIS DENTAL**

Memoria de investigación que presenta:

Mónica Zafra Vallejo

Para optar al Grado de Doctor en Odontología por la
Universidad Complutense de Madrid

Directores:

Profa. Dra. Dña. Alicia Celemín Viñuela
Profesora Contratada Doctora

Prof. Dr. D. Miguel Gómez Polo
Profesor Asociado

**Departamento de Estomatología I (Prótesis Bucofacial)
Facultad de Odontología
Universidad Complutense de Madrid**

Madrid, 2015

PROFA. DRA. DÑA. ALICIA CELEMÍN VIÑUELA, PROFESORA CONTRATADA DOCTORA DE LA FACULTAD DE ODONTOLOGÍA DE LA UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID.

PROF. DR. D. MIGUEL GÓMEZ POLO, PROFESOR ASOCIADO DE LA FACULTAD DE ODONTOLOGÍA DE LA UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID.

HACEN CONSTAR:

Que el presente estudio presentado por Mónica Zafra Vallejo para optar al Grado de Doctor en Odontología con el título “Estudio comparativo *in vitro* sobre las características físicas y mecánicas de tres materiales provisionales, para su uso en prótesis dental”, es un trabajo original que ha sido realizado bajo nuestra supervisión y dirección.

Para que conste se firma en Madrid, a de de 2015.

Profa. Dra. Dña. Alicia Celemín Viñuela

Prof. Dr. D. Miguel Gómez Polo

AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento a todas aquellas personas que con su colaboración y esfuerzo han hecho posible la elaboración de esta Tesis Doctoral.

A la Dra. Celemín Viñuela y al Dr. Gómez Polo, directores del presente trabajo, por su constante apoyo y predisposición.

Al Prof. Dr. Martínez Vázquez de Parga y al Prof. Dr. Del Río Highsmith por la ayuda y dedicación que han empleado en este estudio.

Al Dr. Pradíes Ramiro y a la Dra. Valverde Espejo por la inestimable concesión a este trabajo; el préstamo de la máquina de termociclado.

Al Dr. Vera González, miembro del Departamento de Estomatología II por facilitarnos la cabina de luz ultravioleta para el estudio de la fluorescencia de los materiales.

A la casa VOCO GmbH, por brindarnos la oportunidad de participar en el proyecto "*Comparative study of three kind of provisional restorations Structur® 3 (VOCO), Protemp™ 4 (3M Espe) and Unifast III (GC)*", siguiendo las directrices del Art. 83 de la Ley Orgánica de Universidades. Proyecto antecesor de la presente Tesis Doctoral.

A la casa Vita Zahnfabrik, por permitirnos la cesión del espectrofotómetro; instrumento imprescindible en el desarrollo del presente trabajo.

A la casa GC EUROPE, por la cesión del material.

A todo el personal de la empresa Euroortodoncia S.L., y en especial al Dr. Cervera Sabater, por su valiosa forma de plasmar conocimientos y la incalculable ayuda que ha aportado a la elaboración de este proyecto.

Al Prof. Dr. Baselga Llidó, Catedrático de la Universidad Carlos III de Madrid por permitirme el acceso al Área de Ingeniería de Materiales. Sus conocimientos y la

maquinaria de ensayo de dicha Facultad fueron claves en el estudio de la compresión de nuestros materiales dentales.

A D. José M. García de Cecilia, director de 3datos®, por su apoyo humano y profesional en el desarrollo del análisis estadístico de éste y otros proyectos pretéritos.

A los compañeros y profesores del Departamento de Prótesis de la Universidad Complutense de Madrid por la oportunidad que me han dado de poder colaborar con ellos durante este curso académico.

A todo el personal de la Facultad que de una forma u otra han participado durante la realización de la investigación.

A mis amigos y compañeros de Implanto-Prótesis, y en especial a Almudena, a Rocío, a Cristina y a Juan Carlos.

A mis amigos de siempre; y a mi familia, por vuestro cariño y vuestro ejemplo de honradez, esfuerzo, dedicación, generosidad, bondad y lucha. Gracias por enseñarme el valor de las cosas.

Y a todos aquellos que de una u otra forma han contribuído a la elaboración de este trabajo.

A todos, muchas gracias.

Parte de este estudio fue financiado mediante convenio entre la casa VOCO GmbH y el Departamento de Prótesis Bucofacial de la Facultad de Odontología de la Universidad Complutense de Madrid, mediante el Art. 83 de la L.O.U. Referencia del proyecto: 36/2013 (Ver anexo: Contrato y resolución Art. 83).

A mis padres.

A mi hermano.

Y a Sergio.

-El único lugar donde el éxito viene antes que el trabajo es en el diccionario.-

Donal Kendall

ÍNDICE

Índice

Contenidos	Páginas
RESUMEN	1-3
SUMMARY	4-8
I. INTRODUCCIÓN Y JUSTIFICACIÓN	10-28
I.1. Restauraciones provisionales.....	11
I.1.1. Tipos de restauraciones provisionales.....	11
I.1.2 Resinas para restauraciones provisionales.....	12
I.2. Importancia de los ensayos <i>in vitro</i> en el estudio de materiales restauradores.....	13
I.3. El color.....	15
I.3.1. Elementos del color.....	15
I.3.2. Sistemas de medición del color.....	16
I.3.3. Evaluación del color.....	17
I.3.4. Medición del color en Odontología.....	19
I.4. La fluorescencia.....	21
I.5. La dureza.....	23
I.6. Resistencia a la flexión y módulo de elasticidad (curvas tensión/deformación).....	24
I.7 La compresión.....	26
II. OBJETIVOS	29

III. MATERIAL Y MÉTODO	32
III.1. Material dental.....	33
III.2. Portamuestras.....	36
III.3. Material para la manipulación de las muestras.....	38
III.4. Saliva artificial.....	39
III.5. Botes de almacenamiento.....	39
III.6. Horno de cultivo.....	40
III.7. Espectrofotómetro.....	41
III.8. Dispositivo de medida: Cámara neutra.....	43
III.9. Dispositivo de medida: Cabina con luz UV.....	43
III.10. Máquina de ensayos universal.....	44
III.11. Microscopio óptico.....	48
III.12. Micrómetro de tornillo.....	48
III.13. Máquina de ensayos: Compresión.....	49
III.14. Máquina de termociclado.....	51
III.15. Cámara fotográfica.....	53
III.16. Método experimental.....	53
III.16.1. Ambiente de trabajo.....	53
III.16.2. Preparación y manipulación de las muestras.....	54
III.16.3. Medición de las muestras.....	62
IV. RESULTADOS	81
V. DISCUSIÓN	195

VI. CONCLUSIONES.....	222
------------------------------	------------

VII. BIBLIOGRAFÍA.....	225
-------------------------------	------------

VIII. ANEXOS (en orden de aparición).....	245
--	------------

VIII.1. Planos y certificados de calibración.....	246
---	-----

VIII.2. Tablas de datos.....	250
------------------------------	-----

Estabilidad cromática Grupo 1, Grupo 2 y Grupo 3

Fluorescencia Grupo 1, Grupo 2 y Grupo 3

Microdureza Knoop Grupo 1, Grupo 2 y Grupo 3

Resistencia a la flexión

Tablas de datos Grupo 1, Grupo 2 y Grupo 3

Gráficas Grupo 1, Grupo 2 y Grupo 3

Resistencia a la compresión Grupo 1, Grupo 2 y Grupo 3

VIII.3. Contrato y resolución Art. 83.....	272
--	-----

VIII.4. Anexo en CD-ROM

-Información que aportan las casas comerciales sobre sus productos (VOCO, 3M ESPE y GC).

-Artículo de Morresi et al. (2014)⁽⁵⁴⁾. Tablas de datos. Moda y desviación típica de los valores de termociclado en los diferentes estudios publicados.

-Vídeo de la máquina de termociclado en funcionamiento.

-Gráficas de cada una de las muestras estudiadas durante el ensayo de flexión en Euro Ortodoncia S. L.

-Vídeo de la máquina de ensayos universal Zwick/Roell durante el ensayo de flexión.

Índice de ilustraciones

Ilustración 1: Espacio cromático CIEL *a*b*	16
Ilustración 2: Presentación comercial de una de las jeringas del material Structur [®] 3.....	33
Ilustración 3: Material Structur [®] 3 utilizado en este trabajo.....	33
Ilustración 4: Presentación comercial de una de las jeringas del material Protemp [™] 4.....	34
Ilustración 5: Material Protemp [™] 4 utilizado en este trabajo.....	34
Ilustración 6: Presentación comercial del producto Unifast III.....	35
Ilustración 7: Material Unifast III utilizado en este trabajo.....	35
Ilustración 8: Portamuestras de metacrilato usado en este trabajo.....	36
Ilustración 9: Uno de los portamuestras utilizados en este trabajo junto al cartucho de material Structur [®] 3 del color A3.....	37
Ilustraciones 10 y 11: Portamuestras de acero inoxidable fabricados para la realización del ensayo de compresión de los materiales.....	37
Ilustración 12: Mordaza para la preparación de probetas para el ensayo de resistencia a la compresión.....	38
Ilustración 13: Tiras de acetato de 10 mm de anchura utilizadas en este trabajo.....	38
Ilustración 14: Composición de la saliva artificial empleada en este trabajo.....	39
Ilustración 15: Botes de almacenamiento para las muestras.....	40
Ilustración 16: Horno de cultivo utilizado para almacenar las muestras.....	40
Ilustración 17: Espectrofotómetro VITA Easyshade [®] Compact.....	42
Ilustración 17A: Punta lectora del espectrofotómetro VITA Easyshade [®] Compact (Vita Zahnfabrik).....	42
Ilustración 18: Imagen del interior de la cámara neutra de dimensiones 50x50x50 cm, empleada para realizar la toma de color de las muestras.....	43

Ilustración 19: Imagen de la cabina opaca empleada para medir la fluorescencia de las muestras.....	44
Ilustración 20: Máquina de ensayos universal Zwick/Roell de la empresa Euro Ortodoncia. Detalle del modelo.....	44
Ilustraciones 21-22: Máquina de ensayos universal Zwick/Roell con los aditamentos correspondientes para realizar los ensayos de dureza (A) y flexión (B).....	46
Ilustración 23: Informe de calibración de la máquina de ensayos universal y de los utensilios empleados para medir la dureza Knoop.....	47
Ilustración 24: Microscopio óptico Am Scope.....	48
Ilustración 25: Comprobación, con el micrómetro de tornillo, del \varnothing de una muestra cilíndrica.....	49
Ilustración 26: Máquina de ensayos de compresión del Laboratorio de Materiales de la Universidad Carlos III de Madrid.....	50
Ilustración 27: Máquina de ensayos de compresión del Laboratorio de Materiales de la Universidad Carlos III de Madrid. Detalle del modelo.....	50
Ilustración 28: Máquina de termociclado en funcionamiento.....	52
Ilustración 29: Máquina de termociclado. Detalle de los tres factores importantes.....	53
Ilustraciones 30-35: Pasos en la elaboración y obtención de las muestras rectangulares.....	55-57
Ilustración 36: Muestras almacenadas en botes individuales que contienen saliva artificial.....	58
Ilustraciones 37-43: Pasos en la elaboración y obtención de las muestras cilíndrica.....	60-62
Ilustraciones 44-49: Toma de color de las muestras.....	63-64
Ilustración 50: Fluorescencia visualmente medible de una de las muestras.....	65
Ilustración 51: Fluorescencia visualmente medible de una muestra de cada material estudiado. De izquierda a derecha: Grupo 3, Grupo 2 y Grupo 1.....	65
Ilustración 52: Indentador de dureza HK.....	67

Ilustración 53: Huella Knoop.....	67
Ilustración 54: Programa ImageJ empleado para medir la diagonal mayor (d) de la huella.....	67
Ilustración 55: Utillaje de la máquina Zwick/Roell para realizar ensayos de flexión.....	69
Ilustración 56: Posición de la probeta al comienzo del ensayo. Esquema.....	69
Ilustración 57: Posición de la probeta al comienzo del ensayo.....	70
Ilustración 58: Posición de la probeta durante el ensayo de flexión.....	70
Ilustración 59: Curvas típicas de esfuerzo σ_f frente a la deformación ϵ_f y flecha s	72
Ilustración 60: Máquina de ensayos de compresión del Laboratorio de Materiales de la UC3M.....	75
Ilustración 61: Máquina de ensayos de compresión. Detalle de las placas del medidor metálico con una probeta cilíndrica en su interior.....	76
Ilustración 62: Detalle de una de las muestras cilíndricas.....	76
Ilustración 63: Detalle de las probetas cilíndricas de cada uno de los tres materiales estudiados, después de haber sido sometidas al ensayo de compresión.....	77
Ilustración 64: Imagen al microscopio de una de las probetas cilíndricas, después de haber sido sometido el material al ensayo de compresión.....	77
Ilustración 65: Treinta muestras de un mismo material antes de ser introducidas en la máquina de termociclado.....	79
Ilustración 66: Muestras rectangulares depositadas en el recipiente móvil de la máquina de termociclado.....	79
Ilustración 67: Máquina de termociclado en funcionamiento.....	80

Índice de tablas

Tabla 1: Análisis descriptivo y exploratorio. Estabilidad cromática en T0 y T180. Muestra completa (N=90).....	83
Tabla 2: Test de diferencia de medias. Variables de Estabilidad Cromática, según tipo de Material, en T0.....	84
Tabla 3: Test de diferencia de medias. Variables de Estabilidad Cromática, según tipo de Material, en T180.....	88
Tabla 4: ANOVA de 2 factores. Significación de los efectos del MATERIAL y el GROSOR sobre la Estabilidad cromática, en T0.....	93
Tabla 5: ANOVA de 2 factores. Significación de los efectos del MATERIAL y el GROSOR sobre la Estabilidad cromática, en T180.....	97
Tabla 6: Test de diferencias entre medias. Estabilidad cromática. Medidas repetidas en T0 y T180, en material Grupo 1.....	101
Tabla 7: Test de diferencias entre medias. Estabilidad cromática. Medidas repetidas en T0 y T180, en material Grupo 2.....	102
Tabla 8: Test de diferencias entre medias. Estabilidad cromática. Medidas repetidas en T0 y T180, en material Grupo 3.....	103
Tabla 9: ANOVA mixto de 3 factores: 1 de medidas repetidas + 2 intergrupo. Significación de los efectos del TIEMPO, del MATERIAL y del GROSOR sobre la Estabilidad cromática.....	106
Tabla 10: ANOVA de 2 factores. Significación de los efectos del MATERIAL y el GROSOR sobre el ΔE^* de Estabilidad cromática.....	113
Tabla 11: Test de homocedasticidad. Comparación de variabilidad intragrupo en T0.....	115
Tabla 12: Test de homocedasticidad. Comparación de variabilidad intragrupo en T180.....	116

Tabla 13: Análisis descriptivo y exploratorio. Fluorescencia en T0 y T180. Muestra válida (N=86).....	119
Tabla 14: Test de diferencia de medias. Variables de Fluorescencia, según tipo de Material, en T0.....	120
Tabla 15: Test de diferencia de medias. Variables de Fluorescencia, según tipo de Material, en T180.....	124
Tabla 16: ANOVA de 2 factores. Significación de los efectos del MATERIAL y el GROSOR sobre la Fluorescencia, en T0.....	128
Tabla 17: ANOVA de 2 factores. Significación de los efectos del MATERIAL y el GROSOR sobre la Fluorescencia, en T180.....	132
Tabla 18: Test de diferencias entre medias. Fluorescencia. Medidas repetidas en T0 y T180, en material Grupo 1.....	136
Tabla 19: Test de diferencias entre medias. Fluorescencia. Medidas repetidas en T0 y T180, en material Grupo 2.....	137
Tabla 20: Test de diferencias entre medias. Fluorescencia. Medidas repetidas en T0 y T180, en material Grupo 3.....	138
Tabla 21: ANOVA mixto de 3 factores: 1 de medidas repetidas + 2 intergrupo. Significación de los efectos del TIEMPO, del MATERIAL y del GROSOR sobre la Fluorescencia.....	141
Tabla 22: ANOVA de 2 factores. Significación de los efectos del MATERIAL y el GROSOR sobre el ΔE^* de Fluorescencia.....	148
Tabla 23: Test de homocedasticidad. Comparación de variabilidad intragrupo en T0.....	150
Tabla 24: Test de homocedasticidad. Comparación de variabilidad intragrupo en T180.....	150
Tabla 25: Análisis descriptivo y exploratorio. Dureza en T0 y T180.....	152
Tabla 26: Test de diferencia de medias. Variable de Dureza-Knoop, según tipo de Material, en T0.....	153

Tabla 27: Test de diferencia de medias. Variable de Dureza-Knoop, según tipo de Material, en T180.....	154
Tabla 28: ANOVA de 2 factores. Significación de los efectos del MATERIAL y el GROSOR sobre la Dureza HK, en T0.....	156
Tabla 29: ANOVA de 2 factores. Significación de los efectos del MATERIAL y el GROSOR sobre la Dureza HK, en T180.....	157
Tabla 30: Test de diferencias entre medias. Dureza HK. Medidas repetidas en T0 y T180, en material Grupo 1.....	158
Tabla 31: Test de diferencias entre medias. Dureza HK. Medidas repetidas en T0 y T180, en material Grupo 2.....	159
Tabla 32: Test de diferencias entre medias. Dureza HK. Medidas repetidas en T0 y T180, en material Grupo 3.....	159
Tabla 33: ANOVA <i>mixto de 3 factores</i> : 1 de medidas repetidas + 2 intergrupo. Significación de los efectos del TIEMPO, del MATERIAL y del GROSOR sobre la Dureza HK.....	160
Tabla 34: Test de homocedasticidad. Comparación de variabilidad intragrupo en T0.....	163
Tabla 35: Test de homocedasticidad. Comparación de variabilidad intragrupo en T180.....	163
Tabla 36: Análisis descriptivo y exploratorio. Flexión en T0 y T180.....	165
Tabla 37: Test de diferencia de medias. Variable de Flexión, según tipo de Material, en T0.....	166
Tabla 38: Test de diferencia de medias. Variable de Flexión, según tipo de Material, en T180.....	167
Tabla 39: ANOVA de 2 factores. Significación de los efectos del MATERIAL y el GROSOR sobre la Flexión, en T0.....	168
Tabla 40: ANOVA de 2 factores. Significación de los efectos del MATERIAL y el GROSOR sobre la Flexión, en T180.....	170

Tabla 41: Test de diferencias entre medias. Flexión. Medidas repetidas en T0 y T180, en material Grupo 1.....	171
Tabla 42: Test de diferencias entre medias. Flexión. Medidas repetidas en T0 y T180, en material Grupo 2.....	172
Tabla 43: Test de diferencias entre medias. Flexión. Medidas repetidas en T0 y T180, en material Grupo 3.....	172
Tabla 44: ANOVA mixto de 3 factores: 1 de medidas repetidas + 2 intergrupo. Significación de los efectos del TIEMPO, del MATERIAL y del GROSOR sobre la Flexión.....	173
Tabla 45: Test de homocedasticidad. Comparación de variabilidad intragrupo en T0.....	175
Tabla 46: Test de homocedasticidad. Comparación de variabilidad intragrupo en T180.....	175
Tabla 47: Análisis descriptivo y exploratorio. Resistencia a la Flexión en T0 y T180.....	176
Tabla 48: Test de diferencia de medias. Variable de Resistencia a la Flexión, según tipo de Material, en T0.....	177
Tabla 49: Test de diferencia de medias. Variable de Resistencia a la Flexión, según tipo de Material, en T180.....	178
Tabla 50: ANOVA de 2 factores. Significación de los efectos del MATERIAL y el GROSOR sobre la Resistencia a la Flexión, en T0.....	179
Tabla 51: ANOVA de 2 factores. Significación de los efectos del MATERIAL y el GROSOR sobre la Flexión, en T180.....	181
Tabla 52: Test de diferencias entre medias. Resistencia a la Flexión. Medidas repetidas en T0 y T180, en material Grupo 1.....	182
Tabla 53: Test de diferencias entre medias. Resistencia a la Flexión. Medidas repetidas en T0 y T180, en material Grupo 2.....	182
Tabla 54: Test de diferencias entre medias. Resistencia a la Flexión. Medidas repetidas en T0 y T180, en material Grupo 3.....	183
Tabla 55: ANOVA mixto de 3 factores: 1 de medidas repetidas + 2 intergrupo.	

Significación de los efectos del TIEMPO, del MATERIAL y del GROSOR sobre la Resistencia a la Flexión.....	184
Tabla 56: Test de homocedasticidad. Comparación de variabilidad intragrupo en T0.....	185
Tabla 57: Test de homocedasticidad. Comparación de variabilidad intragrupo en T180.....	185
Tabla 58: Análisis descriptivo y exploratorio. Compresión en T0 y T180.....	187
Tabla 59: Test de significación. Comparación del Tipo de MATERIAL en T0.....	190
Tabla 60: Test de significación. Comparación del Tipo de MATERIAL en T180.....	192
Tabla 61: Test de significación. Cambios en el TIEMPO, de cada tipo de MATERIAL.....	192

Índice de figuras

Fig. 1: Estabilidad cromática. Variable L^* . Medias por tipo de MATERIAL en T0.....	85
Fig. 2: Estabilidad cromática. Variable C^* . Medias por tipo de MATERIAL en T0.....	85
Fig. 3: Estabilidad cromática. Variable h° . Medias por tipo de MATERIAL en T0.....	86
Fig. 4: Estabilidad cromática. Variable a^* . Medias por tipo de MATERIAL en T0.....	86
Fig. 5: Estabilidad cromática. Variable b^* . Medias por tipo de MATERIAL en T0.....	87
Fig. 6: Estabilidad cromática. Variable L^* . Medias por tipo de MATERIAL en T180.....	89
Fig. 7: Estabilidad cromática. Variable C^* . Medias por tipo de MATERIAL en T180.....	89
Fig. 8: Estabilidad cromática. Variable h° . Medias por tipo de MATERIAL en T180.....	90
Fig. 9: Estabilidad cromática. Variable a^* . Medias por tipo de MATERIAL en T180.....	90
Fig. 10: Estabilidad cromática. Variable b^* . Medias por tipo de MATERIAL en T180.....	91
Fig. 11: Estabilidad cromática. Variable L^* . Medias por tipo de MATERIAL y GROSOR en T0.....	94
Fig. 12: Estabilidad cromática. Variable C^* . Medias por tipo de MATERIAL y GROSOR en T0.....	94
Fig. 13: Estabilidad cromática. Variable h° . Medias por tipo de MATERIAL y GROSOR en T0.....	95
Fig. 14: Estabilidad cromática. Variable a^* . Medias por tipo de MATERIAL y GROSOR en T0.....	95
Fig. 15: Estabilidad cromática. Variable b^* . Medias por tipo de MATERIAL y GROSOR en T0.....	96
Fig. 16: Estabilidad cromática. Variable L^* . Medias por tipo de MATERIAL y GROSOR en T180.....	98

Fig. 17: Estabilidad cromática. Variable C^* . Medias por tipo de MATERIAL y GROSOR en T180.....	98
Fig. 18: Estabilidad cromática. Variable h° . Medias por tipo de MATERIAL y GROSOR en T180.....	99
Fig. 19: Estabilidad cromática. Variable a^* . Medias por tipo de MATERIAL y GROSOR en T180.....	99
Fig. 20: Estabilidad cromática. Variable b^* . Medias por tipo de MATERIAL y GROSOR en T180.....	100
Fig. 21: Estabilidad cromática. Cambio en el TIEMPO de la variable L^* , para el GROSOR 1,5 mm, según tipo de MATERIAL	107
Fig. 22: Estabilidad cromática. Cambio en el TIEMPO de la variable L^* , para el GROSOR 2 mm, según tipo de MATERIAL.....	107
Fig. 23: Estabilidad cromática. Cambio en el TIEMPO de la variable C^* , para el GROSOR 1,5 mm, según tipo de MATERIAL.....	108
Fig. 24: Estabilidad cromática. Cambio en el TIEMPO de la variable C^* , para el GROSOR 2 mm, según tipo de MATERIAL.....	108
Fig. 25: Estabilidad cromática. Cambio en el TIEMPO de la variable h° , para el GROSOR 1,5 mm, según tipo de MATERIAL.....	109
Fig. 26: Estabilidad cromática. Cambio en el TIEMPO de la variable h° para el GROSOR 2 mm, según tipo de MATERIAL.....	109
Fig. 27: Estabilidad cromática. Variable a^* . Medias por tipo de MATERIAL y TIEMPO.....	110
Fig. 28: Estabilidad cromática. Cambio en el TIEMPO de la variable b^* , para el GROSOR 1,5 mm, según tipo de MATERIAL.....	110
Fig. 29: Estabilidad cromática. Cambio en el TIEMPO de la variable b^* para el GROSOR 2 mm, según tipo de MATERIAL.....	111
Fig. 30: Estabilidad cromática. Variable ΔE^* . Medias por tipo de MATERIAL y GROSOR.....	113
Fig. 31: Fluorescencia. Diagrama de caja. Ejemplo de valores atípicos obtenidos.....	118

Fig. 32: Fluorescencia. Variable L^* . Medias por tipo de MATERIAL en T0.....	121
Fig. 33: Fluorescencia. Variable C^* . Medias por tipo de MATERIAL en T0.....	121
Fig. 34: Fluorescencia. Variable h° . Medias por tipo de MATERIAL en T0.....	122
Fig. 35: Fluorescencia. Variable a^* . Medias por tipo de MATERIAL en T0.....	122
Fig. 36: Fluorescencia. Variable b^* . Medias por tipo de MATERIAL en T0.....	123
Fig. 37: Fluorescencia. Variable L^* . Medias por tipo de MATERIAL en T180.....	124
Fig. 38: Fluorescencia. Variable C^* . Medias por tipo de MATERIAL en T180.....	125
Fig. 39: Fluorescencia. Variable h° . Medias por tipo de MATERIAL en T180.....	125
Fig. 40: Fluorescencia. Variable a^* . Medias por tipo de MATERIAL en T180.....	126
Fig. 41: Fluorescencia. Variable b^* . Medias por tipo de MATERIAL en T180.....	126
Fig. 42: Fluorescencia. Variable L^* . Medias por tipo de MATERIAL y GROSOR en T180.....	129
Fig. 43: Fluorescencia. Variable C^* . Medias por tipo de MATERIAL y GROSOR en T180.....	129
Fig. 44: Fluorescencia. Variable h° . Medias por tipo de MATERIAL y GROSOR en T180.....	130
Fig. 45: Fluorescencia. Variable a^* . Medias por tipo de MATERIAL y GROSOR en T180.....	130
Fig. 46: Fluorescencia. Variable b^* . Medias por tipo de MATERIAL y GROSOR en T180.....	131
Fig. 47: Fluorescencia. Variable L^* . Medias por tipo de MATERIAL y GROSOR en T180.....	133
Fig. 48: Fluorescencia. Variable C^* . Medias por tipo de MATERIAL y GROSOR en T180.....	133
Fig. 49: Fluorescencia. Variable h° . Medias por tipo de MATERIAL y GROSOR en T180.....	134

Fig. 50: Fluorescencia. Variable a^* . Medias por tipo de MATERIAL y GROSOR en T180.....	134
Fig. 51: Fluorescencia. Variable b^* . Medias por tipo de MATERIAL y GROSOR en T180.....	135
Fig. 52: Fluorescencia. Cambio en el TIEMPO de la variable L^* , para el GROSOR 1,5 mm, según tipo de MATERIAL.....	142
Fig. 53: Fluorescencia. Cambio en el TIEMPO de la variable L^* , para el GROSOR 2 mm, según tipo de MATERIAL.....	142
Fig. 54: Fluorescencia. Cambio en el TIEMPO de la variable C^* , para el GROSOR 1,5 mm, según tipo de MATERIAL.....	143
Fig. 55: Fluorescencia. Cambio en el TIEMPO de la variable C^* , para el GROSOR 2 mm, según tipo de MATERIAL.....	143
Fig. 56: Fluorescencia. Cambio en el TIEMPO de la variable h° , para el GROSOR 1,5 mm, según tipo de MATERIAL.....	144
Fig. 57: Fluorescencia. Cambio en el TIEMPO de la variable h° para el GROSOR 2 mm, según tipo de MATERIAL.....	144
Fig. 58: Fluorescencia. Cambio en el TIEMPO de la variable a^* , para el GROSOR 1,5 mm, según tipo de MATERIAL.....	145
Fig. 59: Fluorescencia. Cambio en el TIEMPO de la variable a^* para el GROSOR 2 mm, según tipo de MATERIAL.....	145
Fig. 60: Fluorescencia. Cambio en el TIEMPO de la variable b^* , para el GROSOR 1,5 mm, según tipo de MATERIAL.....	146
Fig. 61: Fluorescencia. Cambio en el TIEMPO de la variable b^* para el GROSOR 2 mm, según tipo de MATERIAL.....	146
Fig. 62: Fluorescencia. Variable ΔE^* . Medias por tipo de MATERIAL y GROSOR.....	148
Fig. 63: Dureza. Variable HK-Knoop . Medias por tipo de MATERIAL en T0.....	153
Fig. 64: Dureza. Variable HK-Knoop . Medias por tipo de MATERIAL en T180.....	155

Fig. 65: Dureza. Variable HK-Knoop . Medias por tipo de MATERIAL y GROSOR en T0.....	156
Fig. 66: Dureza. Variable HK-Knoop . Medias por tipo de MATERIAL y GROSOR en T180.....	157
Fig. 67: Dureza. Variable HK-Knoop . Medias por TIEMPO y TIPO DE MATERIAL.....	161
Fig. 68: Dureza. Cambio en el TIEMPO de la variable HK , para GROSOR 1,5 mm, según tipo de MATERIAL.....	161
Fig. 69: Dureza. Cambio en el TIEMPO de la variable HK , para GROSOR 2 mm, según tipo de MATERIAL.....	162
Fig. 70: Flexión. Variable E {I_o Mod} MPa . Medias por tipo de MATERIAL en T0.....	166
Fig. 71: Flexión. Variable E {I_o Mod} MPa . Medias por tipo de MATERIAL en T180... ..	167
Fig. 72: Flexión. Variable E {I_o Mod} MPa . Medias por tipo de MATERIAL y GROSOR en T0.....	169
Fig. 73: Flexión. Variable E {I_o Mod} MPa . Medias por tipo de MATERIAL y GROSOR en T180.....	170
Fig. 74: Flexión. Variable E {I_o Mod} . Medias por TIEMPO y TIPO DE MATERIAL.....	174
Fig. 75: Flexión. Variable σ_{fM} (MPa) . Medias por tipo de MATERIAL en T0.....	177
Fig. 76: Flexión. Variable σ_{fM} (MPa) . Medias por tipo de MATERIAL en T180.....	178
Fig. 77: Flexión. Variable σ_{fM} (MPa) . Medias por tipo de MATERIAL y GROSOR en T0.....	180
Fig. 78: Flexión. Variable σ_{fM} (MPa) . Medias por tipo de MATERIAL y GROSOR en T180.....	181
Fig. 79: Compresión. Variable C . Valores empíricos según MATERIAL en T0.....	188
Fig. 80: Compresión. Variable C . Diagrama de caja según MATERIAL en T0.....	189
Fig. 81: Compresión. Variable C . Valores empíricos según MATERIAL en T180.....	191
Fig. 82: Compresión. Variable C . Diagrama de caja según MATERIAL en T180.....	185
Fig. 83: Compresión. Variable C (MPa) . Valores empíricos de GRUPO 1 de Material en T0 y T180.....	193

Fig. 84: Compresión. Variable C (MPa) . Valores empíricos de GRUPO 2 de Material en T0 y T180.....	193
Fig. 85: Compresión. Variable C (MPa) . Valores empíricos de GRUPO 3 de Material en T0 y T180.....	194
Fig. 86: Compresión. Variable C (MPa) . Medianas por TIEMPO y TIPO DE MATERIAL.....	194

RESUMEN

El presente proyecto centró sus objetivos en evaluar y comparar la estabilidad cromática, fluorescencia, microdureza, flexión, módulo de elasticidad y compresión de una resina acrílica y dos bis-acrílicas, empleadas en Odontología para confeccionar provisionales mediante técnica directa. Los ensayos se realizaron 24h después de la elaboración de las muestras (T0) y después de someterlas a un proceso de termociclado, o envejecimiento artificial acelerado (T180).

El estudio del **color** y la **fluorescencia** se realizó en el Departamento de Estomatología I de la UCM. Se empleó el espectrofotómetro VITA Easyshade Compact para estudiar las tres coordenadas L^* , a^* y b^* , de ambos parámetros. También se estudió el Delta E* (ΔE^*) para describir de manera cuantitativa los cambios cromáticos observados. Se consideraron clínicamente inaceptables valores de $\Delta E^* \geq 3,3$.

La **dureza**, resistencia que ofrece un material a la penetración de su superficie, se estudió mediante el método **Knoop**, según la Norma UNE-EN ISO 4545; 1-4: 2005.

La **resistencia a la flexión** y el **módulo de elasticidad** son magnitudes fundamentales para conocer la resistencia de un material a las fuerzas oclusales. La primera se refiere a la carga máxima que puede soportar el material antes de fracturarse. Se realizó un ensayo de flexión en 3 puntos, según la Norma UNE-EN ISO 178: 2010. El **módulo de elasticidad** es una medida de la rigidez del material: a mayor módulo, mayor resistencia a la flexión.

Para estudiar las tres últimas propiedades descritas, se empleó la máquina de ensayos universal Zwick/Roell, del Departamento de Ingeniería de Euro Ortodoncia.

La resistencia a la **compresión**, habilidad de un material para soportar estrés vertical, tiene gran importancia durante el proceso de masticación. El estudio se realizó con la máquina de ensayos PM2/50 del Laboratorio de Materiales de la UC3M, según la Norma UNE-EN ISO 9917-1: 2007.

Para evaluar las cinco primeras propiedades descritas se fabricaron 30 muestras rectangulares (longitud 35 mm, ancho 10 mm y grosor 1,5 ó 2 mm) de cada uno de los tres productos: (Grupo 1) Structur 3 (VOCO), (Grupo 2) Protemp 4 (3M ESPE) y (Grupo 3) Unifast III (GC). Y, para evaluar la resistencia a la compresión, se fabricaron 5 cilindros (altura 6 mm y diámetro 4 mm) de cada producto. Todas las muestras se almacenaron 24h en saliva artificial, a 37 °C y en oscuridad, antes del inicio de las mediciones en T0.

Posteriormente, las muestras fueron sometidas a termociclado (2.000 ciclos, 5/55°C, 30 s). Para los ensayos de flexión y compresión se fabricaron nuevas probetas pues uno de los desencadenantes de estos es la destrucción de los ejemplares. Después del envejecimiento, se realizó nuevamente el estudio de los materiales.

Conclusiones:

-El ΔE^* para la **estabilidad cromática** en las muestras de 2 mm de grosor del Grupo 1 fue ligeramente superior al valor de 3,3 clínicamente aceptado.

-El ΔE^* para la **fluorescencia** fue significativamente mayor en las muestras de 1,5 mm de grosor del Grupo 3. El único conjunto cuyo resultado permaneció inferior a las 3,3 unidades fue el Grupo 1.

-La **microdureza Knoop**, presentó diferencias altamente significativas entre los tres materiales. En todos ellos, la media de los datos registrados después del termociclado fue mayor que la media en T0. El Grupo 2 obtuvo los mejores resultados en ambos tiempos de medida.

-La **resistencia a la flexión** de los tres materiales disminuyó después del termociclado, pero no de forma estadísticamente significativa. El Grupo 2 presentó el mayor valor de resistencia a la flexión.

El **módulo de elasticidad** fue mayor en el Grupo 2 en ambos tiempos de medida. La diferencia fue de más de 640 MPa.

En los tres materiales estudiados, los ejemplares de 1,5 mm de grosor obtuvieron valores de módulo de elasticidad más altos que los de 2 mm.

-La resistencia a la **compresión** de los materiales disminuyó después del termociclado, de forma estadísticamente significativa. El Grupo 2 presentó mayor valor que sus homólogos.

SUMMARY

IN VITRO COMPARATIVE STUDY OF MECHANICAL AND PHYSICAL FEATURES OF THREE TEMPORARY MATERIALS, FOR THEIR USE IN DENTAL PROSTHESIS

Introduction:

Provisional restoration is an important rehabilitation phase in fixed prosthodontic therapy, it should provide pulpal and periodontal protection, showing marginal integrity and aesthetics, should also have enough durability in order to resist the mastication forces. Patients with bruxism or those, whose treatment require long-term use of provisional restorations, need material with better optical and mechanical properties.

The present study research studied the chromatic stability, fluorescence, Knoop microhardness, flexural strength, elastic modulus and compressive strength of an acrylic resin and two bi-acrylic resins, used in odontology in the manufacturing of temporaries with a direct technique.

-The **colour** study is paramount in aesthetic odontology. It has a significant weight when the patients weigh the quality of a restoration, especially when it is in the anterior region.

The colour may be described in terms of its three coordinates L^* , a^* and b^* ; or L^* , C^* and h° . However, colour changes are quantitatively described through Delta E* (ΔE^*). Most of the researches agree that values of $\Delta E^* \geq 3.3$ are clinically unacceptable in odontology.

-**Fluorescence** is the ability that some crystalline elements have of being able of absorbing energy in the shape of short-waved electromagnetic radiations (gamma radiation, x rays, UV light, blue light) and subsequently sending out, spontaneously, part of said energy in the shape, for instance, of a longer wave, within the visible spectrum.

-**Hardness** refers to the resistance a material offers towards penetration or indentation. In the present study research, the **Knoop** method was used (Knoop microhardness number, KHN).

-The fundamental scales in order to know the resistance of any given material towards occlusal forces are: flexural strength, elastic modulus, and fracture strength. **Flexural strength** is defined as the maximum load said material can resist before fracturing. It is directly proportional to the **elastic modulus**. The **elastic modulus** describes the connection between the stress and the deformation a material suffers for a given load. Therefore, it measures the relative stiffness of a material: to a higher elastic modulus, higher the flexural strength.

-The **compressive resistance** shows the capability of a material to endure the vertical stress. It is of paramount importance, especially during the mastication process since several of the forces participating throughout this process in the occlusal area are of the compressive type.

Aims:

Evaluating and comparing the physical and mechanical features of three temporary materials towards their use in dental prosthesis, at the T0 moment (24h after the samples manufacturing) and after enduring a thermal cycling procedure or accelerated artificial aging.

In order to evaluate the first five properties described above, thirty rectangular specimens were fabricated (35 mm in length, 10 mm wide and 1.5 or 2 mm of thickness) of each commercial brand of the resins chemically activated, used to make provisional restorations: (Group 1) Structur® 3 (VOCO), (Group 2) Protemp™ 4 (3M ESPE) and (Group 3) Unifast III (GC). All specimens were stored for 24 hours in artificial saliva at 37 °C in a thermostatically controlled oven prior testing.

After 24 hours, an evaluation of the fluorescence and color parameters (L^* , a^* , b^*) was performed with a portable spectrophotometer (VITA Easyshade® Compact, previously calibrated following the manufacturer's instructions), in three measures in each specimens. For the Knoop microhardness, flexural strength and elastic modulus, the

specimens were tested on a universal testing machine (Zwick/Roell, software test Xpert®II V143). Flexural strength (3-point bending test) was determined at a crosshead speed of 1 mm/min and a support separation of 24 mm.

In order to evaluate the compressive strength, five cylindrical samples were fabricated (6 mm in height, 4 mm diameter) of each resin brand. The specimens were tested on a universal testing machine (PM2/50 model. R5017 serial number).

Once the researches described were finished, at T0, the samples were subject to a 2.000 cycles- thermal cycling procedure. New samples were needed for the flexion and compression trials (30 rectangular and 5 cylindrical samples of each commercial brand of the resins), since one of the triggers of these two trials is the total destruction of each one of the specimens.

In each cycle of the thermal cycling machine, the specimens stayed 30 seconds in a barrel filled with artificial saliva at 5 °C and then 30 seconds in a 55 °C barrel, alternating these barrels with periods of 15 seconds of rest between them. After this process, the samples were cleaned with sterile water and gauzes. Afterwards they were subject to studies of chromatic stability, fluorescence, hardness, flexural and compressive strength, again.

There are still yet to be published relevant studies about the artificial aging of acrylic and bi-acrylic resins but, in the event they show a physical performance similar to the composite resins, it would be possible to state that the artificial aging is accompanied by a decrease of the physical and mechanical features of the dental resins. Apparently, the duration of the aging and the material have more influence that the location where the artificial aging takes place.

Results:

Colour: The average of the L^* , C^* , h° , a^* and b^* values of the 1.5 mm thick tablets was higher than the average of the 2 mm thick, in all three materials.

The higher ΔE^* value, when comparing the initial moment (T0) with the registries after the accelerated artificial aging, was obtained from the 2 mm thick tablets of Group 1

(3.95 units), slightly over the values clinically accepted in odontology, while the lower ΔE^* value was scored by the 1.5 mm thick tablets of the same Group 1 (2.16 units), being the remaining very close between them.

Fluorescence: The only group whose ΔE^* value totally stayed below the 3.3 units clinically accepted was Group 1.

Hardness: At T₀, highly significant differences were found due to the effect of the material used. Group 2 samples obtained an average value of 19.58 (MPa); Group 3, 16.32; and Group 1, 13.14.

Also at T₁₈₀ highly significant differences were found due to the effect of the material used. Even though all the differences were still significant, the margin between the averages of Group 2 and 3 was narrowed down.

From a multivariate perspective, meaning the analysis of the interaction of time with the type of material in order to study if the three materials evolved equally, it was noticed that changes in time were similar for the three groups. All of them increased, regardless of their thickness. The weighty factor was the type of material, followed by time. Thickness was meaningless.

Flexural strength: At T₀, highly significant differences were found between the three types of materials. The average was higher in Group 2 (95.20 MPa), followed by Group 1 (70.30 MPa) and, lastly, Group 3 (56.89 MPa).

At T₁₈₀, Group 2 was still the one with values close to 90 MPa.

In the three groups studied, (Group 1, Group 2 and Group 3) there was a decrease in the flexural strength value when comparing moment T₀ with T₁₈₀.

Elastic Modulus: $E \{I_0 \text{ Mod}\}$ (MPa) average for the studied materials was of 2,125.96 MPa at T₀ and 2,293.25 at T₁₈₀. Group 2 was still the one scoring best results when compared with Group 1 and Group 3.

Compression: Every value measured at T₁₈₀ was lower than the values measured at T₀.

Conclusions:

- ΔE^* value for **chromatic stability** in the 2 mm thick samples of Group 1 (3.95 units) was slightly over the value clinically accepted in odontology. The remaining groups showed values under 3.3 units.

- ΔE^* value for **fluorescence** was significantly higher in the 1.5 mm thick samples of Group 3 (7.16 units). The only group whose whole result totally remained below the 3.3 units clinically accepted was Group 1 (1.45-1.76 units).

-The **microhardness** value, measured with the **Knoop** system, showed highly significant differences between the three materials. Among them, the average of the results registered after putting the samples through a thermal cycling procedure was higher than the average of the results registered at the start (T₀), being Group 2 the one that scored the best results in both measuring times.

-The **flexural strength** of the three materials studied decreased after the thermal cycling process, but not in a statistically significant way. Even though the average of the 1.5 mm thick specimens was, in total, higher than the 2 mm, a statistically significant effect related to the samples thickness was not determined.

Group 2 showed the highest value of flexural strength (95.20 MPa at T₀).

-The **elastic modulus** was higher in Group 2 in both measuring times. The difference was more than 640 MPa (2,545 MPa at T₀. 3,186.15 MPa at T₁₈₀).

In the three studied materials, 1.5 mm thick specimens obtained higher values of elastic modulus than the 2 mm thick specimens.

-The **compressive strength** of the materials decreased after the thermal cycling procedure in a statistically significant way. Group 2 samples showed the highest values (288.09 MPa at T₀ and 233.39 MPa at T₁₈₀).

I.INTRODUCCIÓN Y JUSTIFICACIÓN

INTRODUCCIÓN

I.1. Restauraciones provisionales

Según el Glosario de Términos Prostdónticos;⁽¹⁾ una restauración provisional es una restauración fija o removible y temporal diseñada por requerimientos estéticos o funcionales, que se usa durante cortos periodos de tiempo y que posteriormente se reemplaza por una prótesis definitiva. Ésta puede determinar la efectividad terapéutica de los tratamientos así como definir la forma y la función que tendrán las prótesis definitivas.⁽¹⁻³⁸⁾

Una restauración provisional debe satisfacer los requerimientos de: protección pulpar, protección del tejido dentario frente a la caries, mantenimiento de la salud periodontal, funcionalidad, mantenimiento de la dimensión vertical, la fonética y la función masticatoria, favorecer la higiene, tener una adecuada resistencia mecánica y, no menos importante, la estética.^(3-5, 7-10, 12-26, 29-40)

I.1.1. Tipos de restauraciones provisionales

Las restauraciones provisionales, dento o implanto-soportadas, pueden emplearse para un periodo de tiempo corto (días), medio (semanas) o prolongado (varios meses);^(3, 5, 8, 18-21, 23-28, 30-38, 40, 41) En el frente anterior, pueden incluso permanecer en boca unos seis meses, siendo un factor clave en la estabilización de la posición del tejido blando y conformación de la papila.^(24, 29-34, 36, 37, 41)

En general, en prótesis sobre implantes, se aconseja el uso de un provisional atornillado para evitar así problemas asociados con la incompleta remoción del cemento residual; el cual puede ocasionar la denominada peri-implantitis iatrogénica.^(19, 21, 26, 31, 34, 37, 42)

Dependiendo de su técnica de elaboración, pueden clasificarse en prefabricadas o individualizadas:

·Provisionales prefabricados: Casquillos de aluminio, coronas anatómicas de metal, coronas de policarbonato, preformas de acrílico. Solo pueden usarse para restauraciones unitarias.

·Provisionales individualizados: Las coronas y los puentes individualizados pueden fabricarse mediante técnica directa o técnica indirecta.

Técnica directa: Elaborados en el gabinete dental, mediante el uso de resinas auto o fotopolimerizables.

Técnica indirecta: Elaborados en laboratorio, mediante el uso de resinas auto o termopolimerizables.

Las técnicas CAD/CAM (Computer-Aided Design/Computer-Aided Manufacturing) son una de las tecnologías en auge en Odontología, ya que cada día muestran mejoras tanto a nivel del software como de productos. Se emplea tanto para la elaboración de prótesis definitiva como para la confección de prótesis provisional.^(3, 6-8, 11, 12, 14, 15, 22, 25, 32, 35, 39, 43, 44)

I.1.2. Resinas para restauraciones provisionales

Tipos de resinas que pueden usarse para fabricar restauraciones provisionales:^(3, 5-8, 14, 15, 21, 28, 33, 35, 38, 39, 45-47)

·Polimetilmetacrilato (PMMA).

·Polietilmetacrilato (PEMA).

·Resina microfilamentada.

·Polivinil metacrilato.

·Metacrilato bis-acrílico.

·Metacrilato de uretano.

Los dos materiales más comúnmente utilizados para fabricar restauraciones provisionales son las resinas acrílicas y las resinas bis-acrílicas.^(7, 13, 17, 19, 21, 23, 24, 26, 28, 31, 33, 35, 48-50) Las resinas acrílicas son más propensas a registrar cambios cromáticos, filtración marginal, lesión pulpar y caries recurrentes. Tienen un alto coeficiente de expansión térmica y sufren una contracción durante la polimerización; al mismo tiempo, producen una alta cantidad de residuos de monómeros.^(13, 51) Entre tanto, las resinas bis-acrílicas tienen mejores propiedades mecánicas, son biocompatibles, sufren mínima reacción exotérmica durante la polimerización y no producen residuos de monómeros monofuncionales; por ello, no causan irritación pulpar ni periodontal.^(13, 35) Las resinas bis-acrílicas son materiales dimetacrilato y pueden clasificarse en dos grupos: bisfenol A-glicidil metacrilato (bis-GMA) y uretano dimetacrilato (UDMA).⁽³⁵⁾

Estos materiales pueden ser quimio o fotopolimerizables,⁽¹⁴⁾ entendiéndose por polimerización el proceso químico por el que los monómeros de la matriz de resina se agrupan químicamente entre sí dando lugar a una molécula de gran peso, llamada polímero.^(15, 17, 35, 52, 53)

La longevidad de estos materiales puede verse afectada por factores importantes, incontrolables, como las fuerzas masticatorias, los hábitos parafuncionales, los factores dietéticos, la humedad, la rugosidad superficial y las oscilaciones térmicas.^(15, 25, 31, 32, 43, 54, 55)

I.2. Importancia de los ensayos *in vitro* en el estudio de materiales restauradores

Las pruebas *in vitro* de los materiales de restauración consisten en la medición de las propiedades físicas, mecánicas y biológicas, siguiendo las directrices de tests estandarizados. La metodología de estas pruebas está descrita por la *American National Standards Institute/American Dental Association* (ANSI/ADA) y por la *International Organization for Standardization ISO* (“isos” del griego, igual). Especificaciones para que cualquier laboratorio de ensayos en el mundo pueda realizar pruebas equivalentes y esperar obtener resultados comparables.⁽⁵⁶⁻⁵⁹⁾

Las pruebas de laboratorio son grandes indicadores de posibles resultados clínicos. Son útiles para probar nuevas técnicas y materiales antes de su aplicación en pacientes; pero, en muchos casos no deben ser considerados como predictores absolutos de lo que sucederá clínicamente.^(22, 25, 54, 56, 57, 60, 61)

Los métodos empleados en estudios *in vitro* deben cumplir los siguientes requisitos (FDA 1978):

- Los resultados deben ser reproducibles.
- Los parámetros que influyen en los resultados de las pruebas deben ser conocidos.
- La variabilidad de los valores medidos debe ser baja y dentro de un rango aceptable.
- Si en la prueba se emplean dispositivos para medir los parámetros, estos dispositivos deben ser adecuados para el propósito dado.

Si se cumplen todos estos parámetros se dice que el método empleado tiene **validez interna**. Si los resultados tienen correlación con los hallazgos clínicos, se dice que el test tiene **validez externa**.^(57, 59)

En el campo de la investigación de laboratorio, el método más ampliamente aceptado en la literatura internacional para reproducir las tensiones dinámicas es el **termociclado**.^(54, 59) El estudio de revisión bibliográfica llevado a cabo por Morresi et al. (2014)⁽⁵⁴⁾ tenía como objetivo evaluar la existencia o ausencia de un protocolo estandarizado de termociclado. La investigación que desarrollaron estos autores se limitó a estudios (sin restricción de idiomas) publicados desde el año 1998 hasta agosto de 2013. La investigación identificó 193 estudios experimentales pertinentes, de los cuales solo 23 habían aplicado fielmente la normativa ISO.⁽⁵⁴⁾ La mayoría de los estudios utilizaron sus propios procedimientos, mostrando solo una cierta coherencia dentro del parámetro de temperatura (5 °C-55 °C) y una gran variabilidad en el número de ciclos y en el tiempo de permanencia elegido.^(54,59)

I.3. El color

El estudio del color es una parte fundamental de la Odontología estética. Es, sin duda, uno de los parámetros con mayor peso cuando los pacientes juzgan la calidad de una restauración, especialmente en la región anterior.^(38, 50, 62-72)

El método de observación visual se caracteriza por la interacción necesaria entre tres elementos fundamentales: una fuente de luz, un objeto y un observador. La luz se constituye por ondas electromagnéticas. Todo objeto o cuerpo iluminado absorbe una parte de las ondas electromagnéticas y refleja las restantes hacia el ojo del observador, quien captura la energía física y la transforma en impulsos nerviosos que son interpretadas por el cerebro como "COLOR".^(38, 50, 68, 72-79) El color es, por tanto, una noción puramente humana. Noción fisiológica que es subjetiva, difícil de medir o describir.⁽⁵⁰⁾

La porción de ondas electromagnéticas que el ser humano es capaz de percibir es pequeña en comparación con todas las existentes. Esta región, denominada espectro visible, comprende longitudes de onda desde los 380 nm hasta los 720 nm.^(68, 73-77, 79)

Uno de los sistemas de ordenación del color más empleado es el sistema Munsell H V/C (hue, value, chroma), creado por el profesor Albert H. Munsell en la primera década del s. XX.⁽⁵⁰⁾

I.3.1. Elementos del color

- **Tinte** (hue). Atributo por el cual se distingue una familia de colores de otra.

- **Valor** (value). Elemento que determina la cantidad de blanco o negro que tiene un objeto. Se obtiene mezclando cada color con blanco o negro; y la escala varía de 0 (negro puro) a 100 (blanco puro).

- **Intensidad** (chroma). Cantidad de **tinte** que tiene un color. Los colores de baja intensidad son llamados débiles y los de máxima intensidad se denominan saturados o fuertes.^(38, 50, 62, 63, 74-76, 78, 80-85)

Los elementos **tinte**, **valor** e **intensidad** coexisten simultáneamente. Es difícil para el ser humano verlos y juzgarlos de forma independiente.⁽⁵⁰⁾

I.3.2. Sistemas de medición del color

Existen varios sistemas en los que la medición del color puede ser categorizada e identificada cuantitativamente:^(63, 72, 86, 87)

• Espacio cromático CIEL*a*b* (1976). Modelo cromático que describe todos los colores que puede percibir el ojo humano, es decir, este modelo dimensiona la totalidad del espectro visible.^(63, 88) Se construye en torno a tres ejes (ver ilustración 1): eje amarillo-azul; eje verde-rojo y en el centro la escala de grises, establecida por el eje blanco-negro. Siendo como expresión volumétrica una esfera.

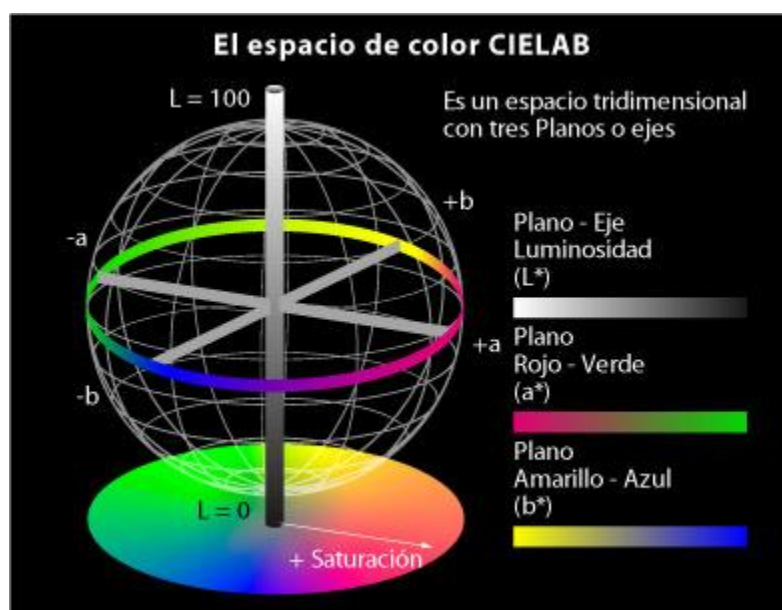


Ilustración 1: Espacio cromático CIEL*a*b*.^(76, 88)

L^* (eje vertical) representa el **valor**, desde 0 (negro) hasta 100 (blanco) y a^* y b^* los ejes de coordenadas donde se sitúan los colores que tienden al rojo, amarillo, verde y azul. Los valores positivos de a^* indican una tendencia al rojo y los valores negativos de a^* al verde. Los valores positivos de b^* indican una tendencia al amarillo y los

valores negativos de b^* hacia el azul. (13-15, 38, 50-52, 63-71, 74-79, 82-87, 89-119)

·Sistema CIEL* C^*h° . Las coordenadas a^* y b^* pueden transformarse matemáticamente en C^* y h° , constituyendo el sistema de medición CIEL* C^*h° . Siendo L^* (el **valor**) una variable común a ambos sistemas, C^* la **intensidad**, de 0 a 100 y h° el **tinte**, establecido como ángulo de color de 0° a 360° . (52, 63, 74, 76, 82, 89-96, 101, 107)

La transformación de a^* y b^* en C^* y h° , se relaciona por las siguientes fórmulas matemáticas: (76)

$$C^*_{ab} = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$$

$$h^\circ_{ab} = \arctan \frac{b^*}{a^*}$$

I.3.3. Evaluación del color

·Diferencia de color o ΔE^*

El color puede describirse en términos de sus tres coordenadas L^* , a^* y b^* . Pero, los cambios de color se describen de forma cuantitativa con el Delta E^* (ΔE^*). En otras palabras, el ΔE^* proporciona información sobre la magnitud del cambio, pero no sobre la dirección (del cambio), es decir, **representa la magnitud de la diferencia de color, pero no indica la dirección en los ejes de coordenadas.**

A través de la siguiente ecuación matemática **se puede calcular la diferencia entre dos colores de forma cuantitativa**. Se utiliza la forma euclidiana de la diferencia de color entre dos puntos en el espacio. (76)

-Diferencia de color entre dos objetos:

$$\Delta E^* (\text{CIEL}^*a^*b^*) = \sqrt{[(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]} \quad (13-15, 38, 51, 52, 64-71, 73, 75-79, 81-86, 90-92, 94-99, 101-108, 110-125)$$

·Evaluación de la diferencia de color

Cuanto menor es el valor de ΔE^* , mejor será la estabilidad cromática.^(15, 89) Se considera que un material es completamente estable, en términos cromáticos, cuando no se detecta ninguna diferencia de color después de haber sido sometido a un entorno de pruebas ($\Delta E^* = 0$).^(14, 51)

· ΔE^* menor que 1, la diferencia de color no será percibida por el ojo humano.

· ΔE^* entre 1 y 2, la diferencia de color será percibida por un observador experimentado.

· ΔE^* superiores a 2, las diferencias de color son cada vez más apreciables por observadores no experimentados.

· ΔE^* entre 2 y 3, diferencia evidente entre color de referencia y color obtenido, pero gusta, es aceptable.

· ΔE^* entre 3 y 4, diferencia evidente entre color de referencia y color obtenido, al límite de la aceptación.

· ΔE^* superior a 4, diferencia evidente entre color de referencia y color obtenido, inaceptable.

La mayor parte de los estudios coinciden en resaltar que **valores de $\Delta E^* \geq 3,3$ son clínicamente inaceptables en Odontología.**^(13, 38, 51, 52, 64-68, 75, 82, 89, 91-94, 96, 98, 99, 101, 106, 108, 110-113, 116, 117, 122, 123, 126, 127)

En Odontología, el umbral de aceptabilidad para diferencias de color es mayor que el umbral de perceptibilidad.⁽⁷⁶⁾

Los cambios cromáticos que sufre un material pueden deberse a causas extrínsecas o intrínsecas. Dentro de las causas extrínsecas encontramos: la dieta, la acumulación de placa, la degradación superficial. En las causas intrínsecas juegan un papel muy importante las reacciones físico-químicas que tienen lugar en las capas más profundas del material de restauración.^(14, 21, 51, 64-66, 69, 105, 106, 108, 110, 111, 113, 115, 116)

Sin embargo, la bibliografía sobre la estabilidad del color de las resinas acrílicas y bis-acrílicas es escasa. Existe controversia respecto a qué tipo de material tiene mayor estabilidad del color. Diversos estudios afirman que algunas resinas bis-acrílicas son menos estables desde el punto de vista cromático, al someterlas a un proceso de envejecimiento *in vitro*, en relación con los metacrilatos. Otros autores afirman que los acrílicos son más resistentes al sumergirlos en líquidos colorantes y que los bis-acrílicos son más resistentes al envejecimiento.⁽¹³⁾

I.3.4. Medición del color en Odontología

·Medición del color mediante métodos subjetivos

Las guías dentales constan de tablillas de color que se comparan sucesivamente con el diente, en condiciones de iluminación idénticas, hasta encontrar aquella que presenta una mayor similitud cromática. La utilización de tablillas es un procedimiento subjetivo donde hay un gran número de variables que influyen en el resultado: La iluminación del ambiente, los colores del entorno, la experiencia del profesional, la edad, las exposiciones previas de los ojos (fatiga), la ropa y el maquillaje del paciente, la percepción cromática del dentista.^(41, 50, 52, 62, 63, 67, 72, 73, 75, 76, 78, 79, 81, 84, 87, 122, 128)

Dos de los grupos de tablillas más utilizados son: Vita Classical (VC) y Vita 3D-Master (V3DM) (Vita Zahnfabrik).^(52, 63, 72, 73, 75, 76, 79, 84, 86, 87, 100, 122)

·VC: Se divide en cuatro grupos, uno para cada tonalidad: A (marrón-rojizo), B (amarillo-rojizo), C (gris) y D (gris-rojizo). Dentro de cada grupo hay varios niveles de cromatismo, de tal forma que, por ejemplo, dentro de la tonalidad A encontramos las tablillas A1, A2, A3, A3.5 y A4, siendo la A1 la menos intensa y la A4 la más intensa de color.

En total, encontraremos las siguientes tablillas: A1, A2, A3, A3.5, A4, B1, B2, B3, B4, C1, C2, C3, C4, D2, D3 y D4.^(50, 52, 72, 75, 76, 84, 86, 87, 122)

·V3DM: Contiene 26 tablillas que están divididas en 5 grupos de acuerdo a su **valor**. Dentro de cada grupo, las tablillas se ordenan según **intensidad** creciente (vertical hacia abajo: 1, 1.5, 2, 2.5 y 3) y según el **tinte** (horizontalmente: amarillento, medio y rojizo).^(52, 62, 63, 72, 75, 76, 79, 84, 87, 100)

·Medición del color mediante métodos objetivos

En la actualidad existen un gran número de sistemas diseñados para ayudar a los clínicos y técnicos de laboratorio en el manejo del color en la práctica clínica. Entre ellos se incluyen, colorímetros, espectrofotómetros, analizadores digitales de imagen e instrumentos híbridos que combinan estas tecnologías.^(14, 15, 41, 52, 62, 63, 65-68, 71, 74-76, 78, 79, 83, 84, 86, 89, 93, 94, 97, 98, 102, 108, 109, 111-117, 120, 122, 128, 129)

Un **espectrofotómetro** es un instrumento de medida que **estudia la relación entre valores** de una misma magnitud fotométrica, relativos a dos haces de radiaciones. Es un dispositivo que determina la intensidad de luz reflejada o transmitida. Su funcionamiento consiste en iluminar la muestra con una luz blanca y calcular la cantidad de luz que refleja dicha muestra en una serie de intervalos de longitudes de onda. El instrumento se calibra con una muestra o loseta blanca, cuya reflectancia es conocida, al compararla con una superficie de reflexión difusa perfecta.^(13, 51, 62, 63, 66, 68-71, 75, 76, 78-81, 83, 86, 87, 95, 97, 104, 106, 110-115, 117-120, 127, 128, 130, 131) Se ha encontrado que las mediciones mediante espectrofotómetro bajo condiciones de luz estandarizadas son más fiables y exactas que las obtenidas por discriminación visual.^(63, 83, 94, 112, 114)

En el presente trabajo de investigación se hizo uso del espectrofotómetro VITA Easyshade[®] Compact (Vita Zahnfabrik).^(63, 75, 76, 78, 79) Es un espectrofotómetro portátil e inalámbrico, con una pistola de mano con fibra óptica en su extremo. Esta punta tiene un diámetro de 5 mm y se sitúa en contacto directo con la superficie del diente o del material cuando se está realizando una medición. La pieza de mano presenta fibras ópticas (halógenas) para la iluminación de la superficie y múltiples espectrómetros para el proceso de medida. Uno monitoriza la emisión de luz mientras que los otros dos miden la luz dispersa por el espécimen de muestra, a dos distancias diferentes.^(63, 76, 86, 111)

I.4. La fluorescencia

La fluorescencia es la capacidad que tienen algunos cuerpos cristalinos de absorber energía en forma de radiaciones electromagnéticas de longitud de onda corta (radiación gamma, rayos X, luz UV, luz azul) y, posteriormente emitir, de manera espontánea, parte de esa energía en forma de radiación electromagnética de longitud de onda más larga, por ejemplo, dentro del espectro visible.

La fluorescencia está presente tanto en el esmalte como en la dentina, sin embargo, al asociarse a una mayor cantidad de materia orgánica, es tres veces más la intensidad de fluorescencia de la dentina que la del esmalte.^(27, 41, 77, 78, 80, 120, 132-141)

El cemento presenta valores de fluorescencia similares a la dentina, pero menos intensos.⁽⁴¹⁾

El mecanismo de fluorescencia típico implica tres pasos secuenciales: absorción, disipación no radiactiva y emisión. El ciclo completo es muy breve, transcurre en tiempos del orden de los nanosegundos, por lo que puede considerarse prácticamente instantáneo.

La fluorescencia que puede observarse en un diente natural o en un material de restauración va a depender de la duración de la exposición a la luz UV, que puede suceder bajo condiciones de luz natural o bien bajo condiciones de luz artificial como las lámparas fluorescentes, los flashes fotográficos o la luz oscura de los clubes nocturnos.^(27, 138, 140, 141) Idealmente, un material de restauración debe tener las mismas propiedades de fluorescencia que un diente natural.⁽¹⁴⁰⁾

La fluorescencia de los dientes naturales bajo la luz ultravioleta fue descrita por primera vez por Stübel, en el año 1911. ($\lambda_{\text{max}} = 450 \text{ nm}$). Hartles y Leaver investigaron con mayor detalle la fluorescencia de las estructuras dentales y, describieron en el año 1953, que la fluorescencia "normal" del esmalte presentó una apariencia azulada-blanquecina con tonos amarillos ocasionales. Además, confirmaron los hallazgos de Benedict en 1928: la dentina tenía mayor fluorescencia que el esmalte. Ello se debía al contenido más elevado de sustancias orgánicas en la dentina.^(41, 137, 140)

Para mejorar las condiciones de fluorescencia, a las resinas modernas se añaden óxidos de tierras raras (por ejemplo; europio (Eu), cerio (Ce) e iterbio (Yb)), que incluyen aditivos fluorescentes que pretenden imitar la expresión vital de los dientes naturales en todas las condiciones lumínicas.^(27, 140)

La predicción de la duración de la fluorescencia en materiales de restauración, a través únicamente de estudios *in vitro* es difícil de estimar debido a la heterogénea naturaleza de las condiciones orales. La higiene bucal que lleve a cabo el paciente también juega un papel fundamental, así como a los hábitos alimenticios, los cuales pueden variar significativamente. También conviene tener en cuenta que los pigmentos fluorescentes pueden estar tan dispersos a través de todo el material, que un remodelado o un re-pulido pueden aumentar de nuevo la fluorescencia.⁽¹³⁸⁾

Según Lefever et al. (2010),⁽¹²⁰⁾ la fluorescencia de un material de restauración puede evaluarse mediante métodos ópticos, visuales, en comparación con la estructura del diente adyacente en una escala de 0 a 10 (0= integración óptica escasa; 10= óptima integración óptica); mediante comparaciones de fotografías;^(27, 137) o puede evaluarse de manera objetiva utilizando la misma fórmula de Pitágoras empleada para el estudio de la estabilidad cromática: $\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$ ^(120, 138, 140, 141)

La fluorescencia de las resinas compuestas se clasifica en: baja, adecuada o excesiva.⁽¹³⁹⁾

I.5. La dureza

La dureza se refiere a la resistencia que ofrece un material a la penetración o indentación permanente de su superficie.

Existen diferentes métodos o escalas de uso industrial para llevar a cabo el registro de la dureza: Brinell, Knoop, Vickers, Rockwell, Shore, Rosiwal y Webster. Todas tienen en común un mismo principio: cuantificar la forma geométrica trazada en la superficie de la muestra a estudiar, por un objeto penetrador. Sobre este penetrador actúa una fuerza que produce una muesca simétrica, cuyos valores de profundidad, superficie o anchura, se registran microscópicamente y se obtienen datos que se correlacionan con unos valores tabulados. Los matices entre las distintas metodologías se deben a la geometría, el material a estudiar o la carga del penetrador. La forma de éste puede ser esférica, cónica o piramidal; y componerse de acero, carburo tungsteno o diamante. El rango de la carga empleada es amplio, y la elección de una u otra depende de la naturaleza del material a estudiar, del grado de localización que se desee, y de la dureza inicialmente prevista para el mismo.^(10, 46, 58, 127, 142-155)

En el presente proyecto de investigación se empleó el método **Knoop (Knoop microhardness number, KHN)** para el estudio de la **microdureza**, por acomodarse mejor al tipo de material estudiado. El método de microdureza Knoop se emplea en ensayos con cargas inferiores a 1 kg. El penetrador de este sistema está constituido por un diamante en forma de pirámide de base rómbica, tal y como se especifica en la norma internacional UNE-EN ISO 4545-1.^(48, 58, 110, 142-145, 149-152, 156-158)

Según las especificaciones de la Asociación Dental Americana, la dureza Knoop de una resina acrílica para prótesis intraoral no debe ser menor que 15.⁽⁴⁹⁾

El esmalte dental es considerado un tejido más duro que la dentina. Así lo corrobora el estudio realizado por Chun et al. (2014)⁽¹⁵⁵⁾ donde, al estudiar la dureza Vickers de ambas estructuras, a partir de especímenes rectangulares fabricados (3,0 x 1,2 x 1,2 mm), obtuvieron que la dureza del esmalte tenía valores de 274,8±18,1. Más de cuatro veces superior a la dureza Vickers de la dentina.

I.6. Resistencia a la flexión y módulo de elasticidad (curvas tensión/deformación)

Las magnitudes fundamentales para conocer la resistencia a las fuerzas oclusales de un material determinado son: la resistencia a la flexión, el módulo de elasticidad y la resistencia a la fractura. Por tanto, su cuantificación permite también predecir la aparición de fracturas tanto en el propio material como en los márgenes de la restauración, o lo que es lo mismo, la longevidad de la restauración bajo condiciones clínicas simuladas.^(25, 44, 154, 155, 159-165)

La **resistencia a la flexión** se define como la carga máxima que es capaz de soportar el material antes de fracturarse. Tiene una relación directamente proporcional con el módulo de elasticidad: a mayor módulo de elasticidad, mayor resistencia a la flexión.^(15, 16, 47, 57, 149, 154, 159, 161-168)

Las pruebas de resistencia a la flexión pueden representar la naturaleza dinámica de las tensiones existentes durante los procesos de masticación, donde se crean diferentes efectos sobre las prótesis parciales fijas: tracción, compresión y tensiones de cizallamiento.⁽¹⁴⁶⁾

De acuerdo a la normativa UNE-EN ISO 4049: 2009, la resistencia a la flexión de materiales dentales a base de polímeros debe ser ≥ 80 MPa.^(57, 147, 161, 162, 166, 169)

El **módulo de elasticidad** describe la relación entre el estrés y la deformación que un material sufre para una carga determinada, es por tanto, una medida de la rigidez relativa de un material. Una medida indirecta de la fuerza de los enlaces. Un material más rígido requerirá una carga mayor para deformarse en el mismo grado que uno más elástico.^(15, 47, 155, 159, 161, 168, 170)

Los factores que más influyen en las propiedades mecánicas de un material son su contenido en relleno, el tamaño de las partículas, su distribución y las interacciones entre el relleno y la matriz, siendo el contenido en volumen del relleno la propiedad que más se correlaciona con la resistencia del material, con su módulo de elasticidad, así como con su resistencia a la fractura.^(44, 159, 160, 171)

Se han descrito muchos métodos estáticos y dinámicos para determinar las propiedades mecánicas de los materiales resinosos. Dentro de los estáticos, el **test de flexión en tres puntos** descrito por las normas UNE-EN ISO 178: 2010 y 4049: 2009, es el más utilizado y permite evaluar simultáneamente la resistencia a la flexión y el módulo de elasticidad.^(15, 22, 47, 57, 60, 146, 147, 154, 159, 161-164, 169, 170, 172, 173) Cuando los materiales son sometidos a este ensayo de flexión en tres puntos, se produce una tensión de compresión en la parte superior del material y una tensión de tracción en la cara inferior.^(15, 22, 47, 154, 161-164)

1.7. La compresión

La resistencia a la compresión indica la habilidad demostrada por un material para soportar estrés vertical. Tiene una importancia muy especial en el proceso de la masticación ya que muchas de las fuerzas que intervienen en el área oclusal durante este proceso son de tipo compresivo.^(155, 162, 174-176)

La resistencia a la compresión del esmalte (348 MPa) y de la dentina (297 MPa) puede servir como patrón mecánico para seleccionar la resistencia ideal de las resinas para dientes posteriores.⁽¹⁷⁴⁾ Sin embargo, en las investigaciones existentes sobre propiedades mecánicas de los materiales de restauración dental y los tejidos duros dentales, se observa una brecha significativa. Muchos de ellos no presentan resultados comparables entre sí pues presentan diferente forma y dimensión de los especímenes estudiados.⁽¹⁷⁵⁾ Por ejemplo, en el estudio llevado a cabo por Chun et al. (2014)⁽¹⁵⁵⁾ donde se estudiaban las propiedades mecánicas del esmalte y la dentina a partir de pequeños especímenes rectangulares fabricados (3,0 x 1,2 x 1,2 mm), se obtuvieron resultados de compresión del esmalte de 62,2±23,8 MPa y de la dentina de 193,7±30,6 MPa. Dichos datos no son contradictorios con los expuestos en el apartado de “dureza” al hacer referencia a la dentina y el esmalte. El esmalte sigue teniendo una mayor resistencia al desgaste (adecuado para poder llevar a cabo la trituración de los alimentos) y la dentina posee mejores cualidades para absorber las fuerzas de la masticación.

Las diferentes funciones mecánicas del esmalte y la dentina pueden surgir de sus diferentes composiciones y estructuras internas.⁽¹⁵⁵⁾

Según lo establecido por Ferrario et al. (2004)⁽¹⁷⁶⁾ en su estudio, la carga oclusal que un diente unitario debe resistir en la región anterior debe ser de al menos 150 N.

Al no estar elaborada una norma ISO que haga referencia al estudio de la compresión de los materiales dentales provisionales a base de polímeros, la mayoría de los fabricantes coinciden en seguir las directrices de la normativa UNE-EN ISO 9917-1: 2007, aplicada a los cementos dentales, parte fundamental en la colocación de las prótesis provisionales fijas.⁽¹⁷⁷⁾

JUSTIFICACIÓN

La existencia de una gran variedad de materiales provisionales empleados en Prosthodontia y el escaso número de trabajos publicados, hace ineludible su estudio y comparación clínica, a partir de ensayos *in vivo* y de sus propiedades mecánicas, llevando a cabo ensayos *in vitro*.

En Odontología, los materiales para confeccionar provisionales no han sido el principal objeto de estudio en los últimos años ya que eran considerados materiales poco duraderos. Sin embargo, con el estudio de estos y de sus propiedades esenciales (dureza, resistencia a la flexión, módulo de elasticidad y resistencia a la compresión), contribuimos a que se vayan haciendo más importantes.^(6, 11, 12, 15, 178)

A medida que vayan apareciendo en el mercado nuevos materiales con mejores propiedades y comportamiento clínico, será posible lograr una mayor longevidad de este tipo de restauraciones. Incluso en el momento actual, el concepto de provisionales a corto plazo está cambiando; se plantea el empleo de plásticos como materiales provisionales de larga duración, ya que son económicos, presentan buenas características y son fácilmente reparables y sustituibles.

En los últimos años la tecnología CAD/CAM (Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing) se ha ido consolidando cada vez más en Odontología. Cada día muestra mejoras tanto a nivel de software como de productos. Esta tecnología, que permite controlar el diseño de las estructuras adaptándose a las necesidades específicas de cada caso, también puede utilizarse para la fabricación de restauraciones provisionales.^(6, 11, 12, 27, 32, 44, 115, 154, 164, 168, 178-185)

En el presente proyecto de investigación se estudiaron resinas acrílicas y bis-acrílicas, empleadas en Odontología para la confección de provisionales mediante técnica directa.

II. OBJETIVOS

Los objetivos del presente proyecto de investigación son los siguientes:

Objetivo principal: Evaluar y comparar las características físicas y mecánicas de tres materiales provisionales, para su uso en prótesis dental.

Objetivos secundarios:

II.1.- Evaluar y comparar la **estabilidad cromática** de los tres materiales provisionales estudiados: Structur® 3, Protemp™ 4 y Unifast III, en el momento T0 (24 h después de la confección de las muestras) y después del termociclado (T180).

II.2.- Evaluar y comparar la **fluorescencia** de los tres materiales en el momento T0 y después de someter las muestras a un proceso de termociclado (T180).

II.3.- Evaluar y comparar la **dureza** de los tres materiales mediante el test de microdureza Knoop, en el momento T0 (24 h después de la confección de las muestras) y después del termociclado (T180).

II.4.- Evaluar y comparar la **resistencia a la flexión** y el **módulo de elasticidad** de las muestras elaboradas con los tres materiales, en el momento T0 y después del termociclado (T180).

II.5.- Evaluar y comparar la resistencia a la **compresión** de los tres materiales provisionales estudiados: Structur® 3, Protemp™ 4 y Unifast III, en el momento T0 y después del termociclado (T180).

Hipótesis nula (H_0) planteada: no existen diferencias en cuanto a la estabilidad cromática, la fluorescencia, la microdureza Knoop, la resistencia a la flexión, el módulo de elasticidad y la resistencia a la compresión de los tres materiales provisionales estudiados: Structur® 3, Protemp™ 4 y Unifast III, antes y después de ser sometidos a un proceso de termociclado.

III. MATERIAL Y MÉTODO

III.1. Material dental

Structur[®] 3 (VOCO GmbH, Cuxhaven, Germany); resina bis-acrítica, autopolimerizable, para la confección de coronas y puentes provisionales.^(35, 186) (Ver ilustración 2). (Ver anexo VIII.4 en CD-ROM).



Ilustración 2: Presentación comercial de una de las jeringas del material Structur[®] 3.⁽¹⁸⁶⁾

El sistema ofrece principalmente una gama de ocho colores (A1, A2, **A3**, A3.5, B1, B3, C2, BL). Para la realización del presente proyecto de investigación se seleccionó el color **A3**. Preparado: Cartucho y puntas de mezcla. La ilustración 3 muestra el color y número de lote de la muestra utilizada en este trabajo.⁽¹⁸⁶⁾

Ilustración 3: Material Structur[®] 3 utilizado en este trabajo.⁽¹⁸⁶⁾

Material	Color	REF	Fabricante
Structur [®] 3	A3	2505	VOCO GmbH, Cuxhaven, Germany

Prottemp™ 4 (3M Deutschland GmbH, Neuss, Germany); resina bis-acrítica, autopolimerizable, empleada para la confección de coronas y puentes provisionales.^(35, 187) (Ver ilustración 4). El sistema tiene dos componentes con una base química de éster de ácido metacrílico multifuncional. (Ver anexo VIII.4 en CD-ROM).



Ilustración 4: Presentación comercial de una de las jeringas del material Prottemp™ 4.⁽¹⁸⁷⁾

El sistema ofrece principalmente una gama de seis colores (A1, A2, **A3**, A3.5, B3, Bleach). Para la realización del presente proyecto de investigación se seleccionó el color **A3**. Preparado: Cartucho y puntas de mezcla. La ilustración 5 muestra el color y número de lote de la muestra utilizada en este trabajo.⁽¹⁸⁷⁾

Ilustración 5: Material Prottemp™ 4 utilizado en este trabajo.⁽¹⁸⁷⁾

Material	Color	REF	Fabricante
Prottemp™ 4	A3	46957	3M Deutschland GmbH, Neuss, Germany

Unifast III (GC, Leuven, Belgium); resina acrílica autopolimerizable para coronas, puentes y reconstrucciones provisionales.^(13, 188) (Ver ilustración 6). (Ver anexo VIII.4 en CD-ROM).



Ilustración 6: Presentación comercial del producto Unifast III.⁽¹⁸⁸⁾

El sistema ofrece principalmente una gama de diez colores (A1, A2, **A3**, A3.5, B2, E3, Incisal, Clear, No. 3 (Pink), No. 8 (Pink Veined)). Para la realización del presente proyecto de investigación se seleccionó el color **A3**. Preparado: Líquido y polvo. La proporción estándar de polvo/líquido es de 1 g de polvo por 0,5 ml de líquido. La ilustración 7 muestra el color y número de lote de la muestra utilizada en este trabajo.⁽¹⁸⁸⁾

Ilustración 7: Material Unifast III utilizado en este trabajo.⁽¹⁸⁸⁾

Material	Color	REF	Fabricante
Unifast III	A3	2651	GC, Leuven, Belgium

III.2. Portamuestras

-Para el estudio de la estabilidad cromática, la fluorescencia y para llevar a cabo los ensayos de dureza y flexión, se fabricaron portamuestras de metacrilato (ver ilustraciones 8 y 9) que permitieron preparar “pastillas” de material de 35 mm de largo, 10 mm de ancho y 1,5 mm ó 2 mm de espesor.

Las muestras fabricadas presentaban diferentes grosores: 1,5 mm y 2 mm; de acuerdo a los fundamentos esenciales en prótesis fija detallados por Shillingburg HT⁽³⁹⁾ en cuanto a la reducción axial y oclusal/incisal necesaria para poder confeccionar tanto coronas totalmente cerámicas como coronas metal-cerámicas.^(6, 39, 104, 152)

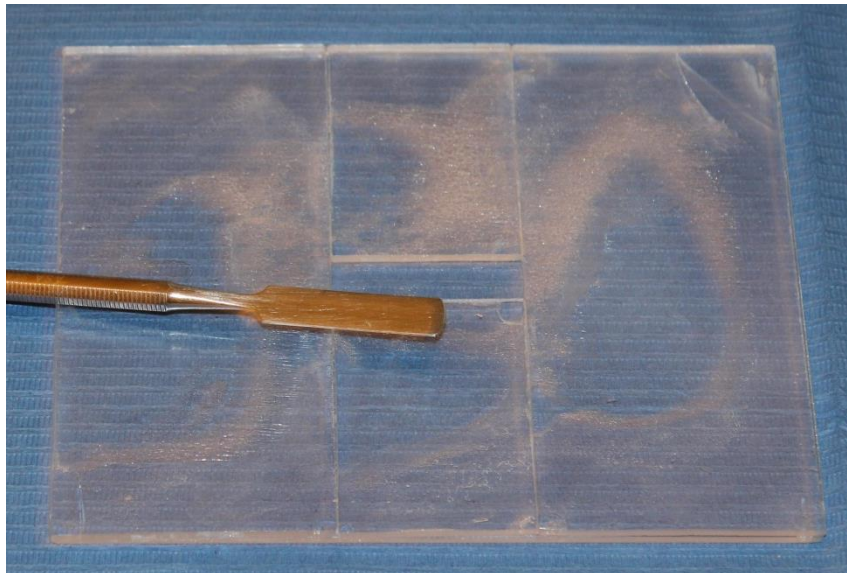


Ilustración 8: Portamuestras de metacrilato usado en este trabajo.

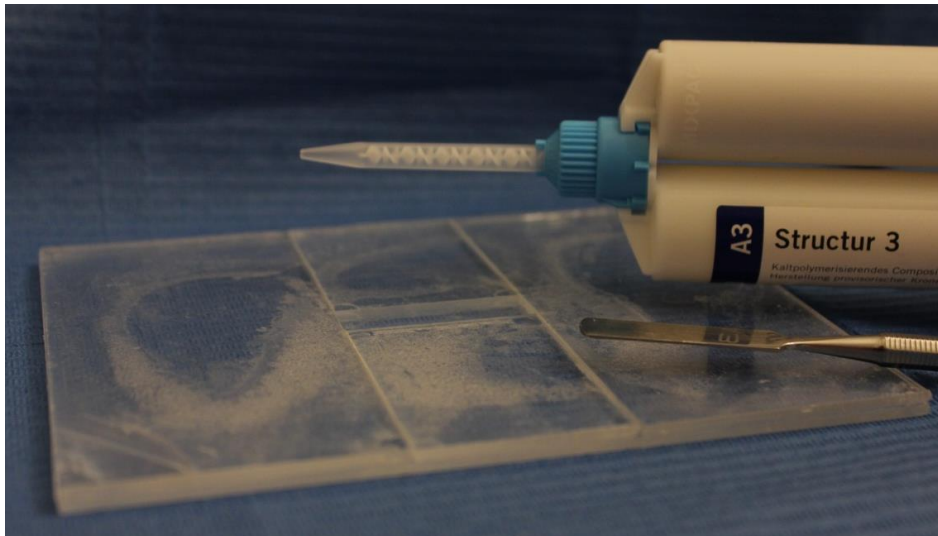
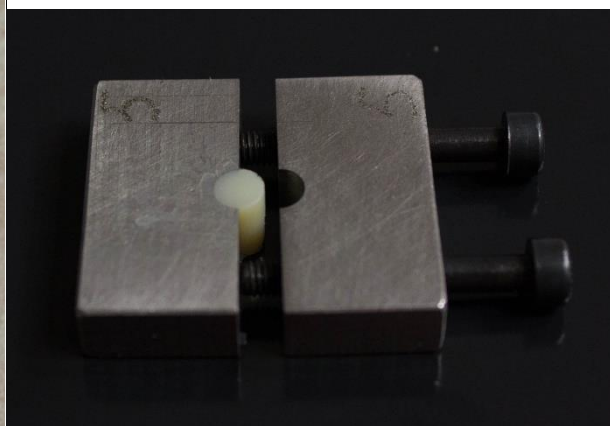


Ilustración 9: Uno de los portamuestras utilizados en este trabajo junto al cartucho de material Structur® 3 del color A3.

-Para llevar a cabo en ensayo de compresión, se fabricaron unos portamuestras y una mordaza de acero inoxidable (ver ilustraciones 10-12) que permitieron preparar “cilindros” de material de 6 mm de altura y 4 mm de \varnothing .

Los portamuestras se diseñaron en la empresa Euro Ortodoncia S.L. siguiendo las directrices de la Norma UNE-EN ISO 9917-1: 2007.⁽¹⁷⁷⁾



Ilustraciones 10 y 11: Portamuestras de acero inoxidable fabricados para la realización del ensayo de compresión de los materiales.

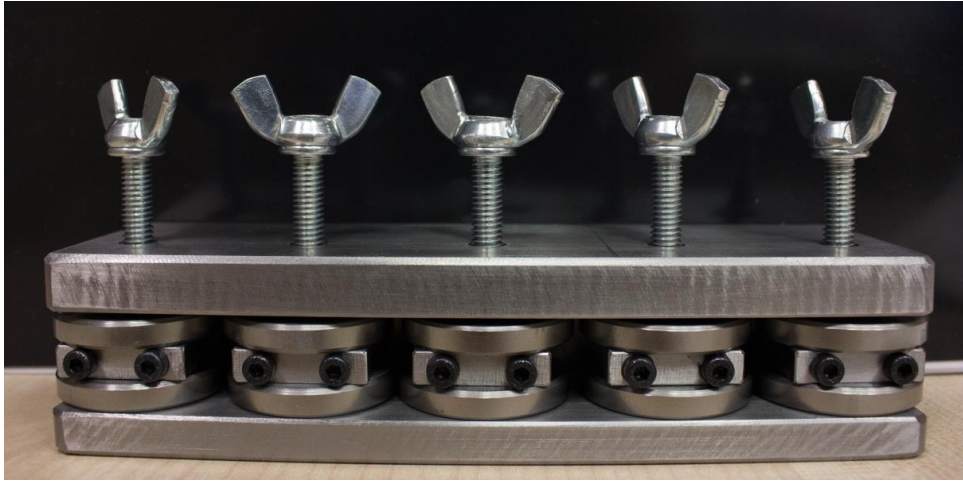


Ilustración 12: Mordaza para la preparación de probetas para el ensayo de resistencia a la compresión.

III.3. Material para la manipulación de las muestras

Para la manipulación del material Unifast III se utilizó un recipiente de goma y una espátula de plástico, tal y como indicaban las instrucciones del fabricante. Y, para la manipulación de los otros dos materiales, se utilizó un expendedor del cartucho de 50 ml y puntas de mezcla tipo 6.

Para la condensación de las resinas en los “pocillos” de los portamuestras, se utilizó una espátula recta y tiras de acetato de 10 mm de anchura.^(10, 43, 66, 68, 108, 116, 148, 150, 151, 161) (Ver ilustración 13). Todas las muestras obtenidas fueron medidas con un micrómetro de tornillo.



Ilustración 13: Tiras de acetato de 10 mm de anchura utilizadas en este trabajo.

III.4. Saliva artificial

La saliva artificial fue empleada como medio de almacenamiento, por ser éste uno de los más empleados en trabajos recientes en este campo y reproducir de forma más cercana las condiciones habituales de la cavidad oral.^(48, 49, 52, 69, 147)

El hecho de que no haya un protocolo único estandarizado sobre los componentes y/o formulación de la saliva artificial en estudios *in vitro* sobre análisis de materiales hace que diferentes salivas artificiales puedan provocar resultados diferentes.^(147, 158)

La saliva artificial utilizada en la presente Tesis Doctoral fue elaborada por personal cualificado del laboratorio de formulación de la Farmacia Del Globo (Madrid), el cual se encuentra adaptado a la normativa vigente del RD 175/2001 de Normas de Correcta Elaboración y Control de Calidad de Fórmulas Magistrales y Preparados Oficiales (ver ilustración 14).

SALIVA ARTIFICIAL OFICIAL			
F. ELAB. :			
N. REF. :	092690		
VIA ORAL			
PVP. :		CONSERVAR: FRESCO Y SECO	
MANTENER FUERA DEL ALCANCE DE LOS NIÑOS			
POTASIO CLORURO	1,2	gr.	
SODIO CLORURO	0,84	gr.	
SORBITOL 50%	30	gr.	
CALCIO CLORURO ANHIDRO	0,15	gr.	
MAGNESIO CLORURO 6-HDTOS	0,05	gr.	
CARBOXIMETILCELULOSA	10	gr.	
POTASIO DIHIDROGENOFOSFATO	0,34	gr.	
AGUA DESTILADA	CSP	1000	ML

Ilustración 14: Composición de la saliva artificial empleada en este trabajo.

III.5. Botes de almacenamiento

Botes individuales, transparentes (ver ilustración 15), para poder clasificar y almacenar cada muestra correctamente.

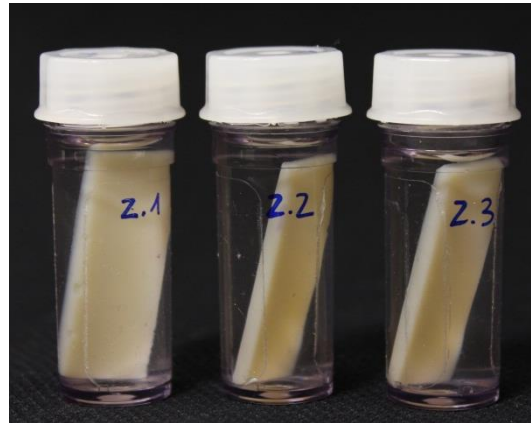


Ilustración 15: Botes de almacenamiento para las muestras.

III.6. Horno de cultivo

Desde la elaboración de las pastillas hasta realizar las correspondientes mediciones, las muestras se conservaron en saliva artificial, durante 24 h, en un horno de cultivo (ver ilustración 16), en oscuridad y a una temperatura constante próxima a 37 °C, para favorecer la rehidratación del material y para completar la polimerización del mismo. (43, 53, 66, 68, 69, 92, 105, 115, 116, 161, 162, 189)



Ilustración 16: Horno de cultivo utilizado para almacenar las muestras.

III.7. Espectrofotómetro

Para el estudio de la estabilidad cromática y la fluorescencia del presente proyecto de investigación se empleó el espectrofotómetro VITA Easyshade® Compact (ver ilustraciones 17 y 17A).

Se seleccionó el “modo normal exclusivo” y el “diente aislado” para determinar el tono básico de cada muestra.^(62, 79, 93) Antes de cada medición el aparato se calibró siguiendo las instrucciones del fabricante.^(51, 62, 63, 65-71, 75, 76, 78, 79, 86, 87, 94, 97, 110, 111, 113, 115, 116, 118, 119, 127, 128, 141) Los estudios no incluyen información acerca de la frecuencia de calibración del espectrofotómetro. Olms y Setz (2013)⁽¹¹¹⁾ recogieron en su estudio que intervalos cortos de calibración (cada cinco disparos) tuvieron un impacto positivo en la repetibilidad de los datos de medición. Anteriormente, autores como Ozturk (2008)⁽¹¹⁸⁾ y Celik (2008)⁽⁷¹⁾ hablaron de intervalos de calibración cada diez mediciones para el espectrofotómetro Vita Easyshade®. Pero, un año más tarde, el estudio de Olms et al. (2009)⁽¹¹⁹⁾ ya mostró como más acertados los intervalos de calibración cada cinco mediciones.

Nakazawa (2009),⁽⁹⁵⁾ Kielbassa et al. (2009),⁽¹³⁰⁾ Lefever et al. (2010),⁽¹²⁰⁾ Khashayar et al. (2012),⁽⁸⁶⁾ Tuncer et al. (2013),⁽¹²⁷⁾ o Schmeling et al. (2014),⁽⁷⁵⁾ entre otros, coinciden en destacar el espectrofotómetro como método más adecuado para la toma de color en Odontología dada su alta fiabilidad, objetividad y reproductibilidad en el tiempo y por distintos operadores.^(13, 14, 62, 63, 65, 66, 75, 79, 83, 84, 86, 87, 95, 97, 98, 104, 110-112, 114, 120, 127, 130, 131)

El espectrofotómetro utilizado para este estudio fue sometido a un **test de validación**. Este test consistió en medir un incisivo central superior extraído; donde cinco operadores diferentes registraron durante cinco días distintos las coordenadas de color en el sistema CIEL*a*b*. Comprobándose posteriormente, en el análisis estadístico, la homogeneidad de resultados del espectrofotómetro.^(62, 63, 76, 79)



Ilustración 17: Espectrofotómetro VITA Easyshade® Compact.



Ilustración 17A: Punta lectora del espectrofotómetro VITA Easyshade® Compact (Vita Zahnfabrik).⁽⁷⁶⁾

III.8. Dispositivo de medida: Cámara neutra

Para realizar la toma de color de las muestras de manera estandarizada y evitar la influencia de la luz ambiental, cada muestra se colocó de manera individual sobre un soporte de acero inoxidable.⁽⁷⁵⁾ Dicho soporte fue a su vez situado en el centro de la cámara neutra o cabina opaca de paredes grises (ver ilustración 18). Este color es un componente de todos los colores primarios y secundarios (gris neutro con $L^* = 50$)^(66, 78, 79, 84, 107, 109, 116)



Ilustración 18: Imagen del interior de la cámara neutra de dimensiones 50x50x50 cm, empleada para realizar la toma de color de las muestras.

III.9. Dispositivo de medida: Cabina con luz UV

Para realizar el estudio de la fluorescencia se empleó una cabina de paredes negras que poseía en su interior dos lámparas que emitían luz ultravioleta,⁽²⁷⁾ (REF: PROD085984; TL2001 8W 3000K; 220-240V 50Hz) a una determinada longitud de onda (ver ilustración 19). Cada muestra se colocó sobre un soporte negro, en el interior de esa cabina. La distancia entre dicha muestra y la luz ultravioleta fue de 25 cm.

Las mediciones se realizaron con el espectrofotómetro descrito anteriormente, VITA Easyshade® Compact, calibrado según indicaciones del fabricante.^(75, 120, 134, 138, 141)



Ilustración 19: Imagen de la cabina opaca empleada para medir la fluorescencia de las muestras.

III.10. Máquina de ensayos universal

La máquina de ensayos universal Zwick/Roell (modelo BT1-FR2.5TS.D14, número de serie 179392), con registro de software testXpert®II V143, se utilizó para realizar las mediciones de dureza Knoop y para estudiar la flexión y curvas de tensión/deformación de cada uno de los materiales. (Ver ilustraciones 20-22). La máquina consta de una célula de carga, encargada de medir la presión y la tracción; y un motor, encargado de situarse a la distancia correcta.



Ilustración 20: Máquina de ensayos universal Zwick/Roell de la empresa Euro Ortodoncia. Detalle del modelo.

Todos los ensayos se realizaron en condiciones ambientales: $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$

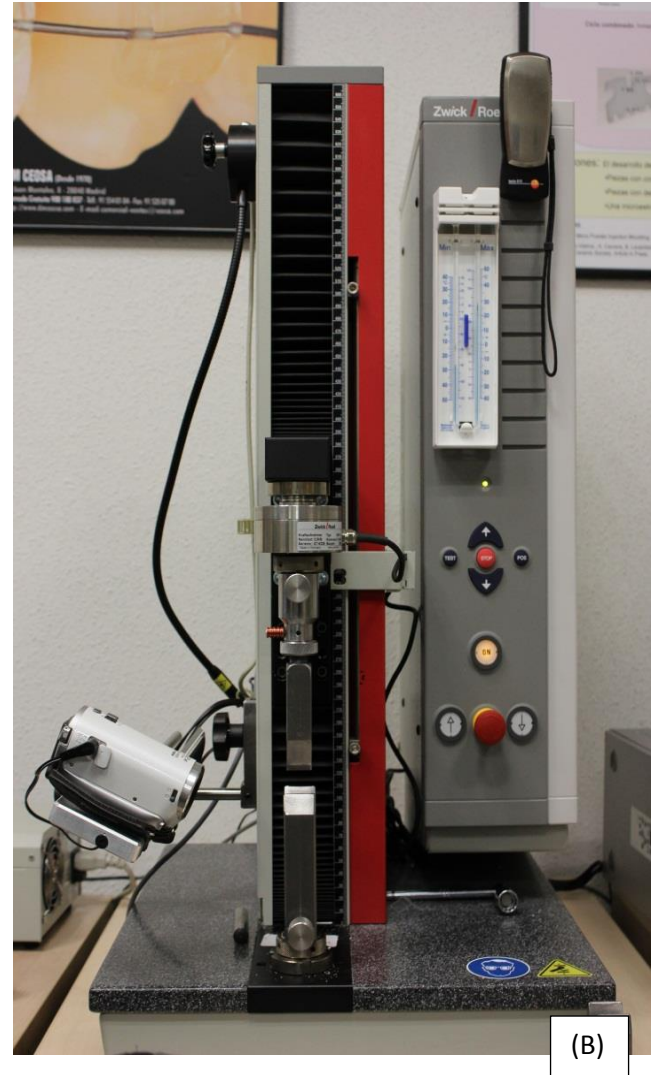
Todos los instrumentos utilizados estaban calibrados. (Ver ilustración 23).

·Para el ensayo de la **dureza** se siguieron las directrices de las normas UNE-EN ISO 4545: 2005 ^(157, 190-192) y se utilizó el sistema Knoop, por acomodarse mejor al tipo de material empleado. Para esta parte del proyecto, además de la máquina de ensayos universal Zwick/Roell, se empleó un testigo (de dureza 66,2 HK) y un punzón o penetrador del sistema Knoop. 9,807 N fue el valor de la fuerza de ensayo aplicada y 10 s el tiempo que se mantuvo dicha fuerza de ensayo.

·Para el ensayo de **flexión** se empleó la máquina Zwick/Roell. Marca/modelo BT1-FR2.5TS.D14. Nº Serie: 179392.

Se llevó a cabo el **ensayo de flexión en tres puntos**, ^(15, 16, 22, 46, 47, 57, 60, 146, 147, 154, 159, 161, 162, 164, 169, 170, 172, 173) y se construyó un juego de apoyos normalizado o estandarizado según la norma UNE-EN ISO 178: 2010. ⁽¹⁷³⁾

Según la norma ISO, la velocidad de ensayo (v) se define como la velocidad del movimiento relativo entre los soportes y el borde del elemento de carga. Dicha velocidad se expresa en milímetros por minuto (mm/min) y se estableció en 0,75 mm/min [$\pm 0,25$] para este ensayo. ^(16, 57, 60, 146, 147, 159, 162, 166, 169, 170, 172, 173) Respecto a la distancia entre apoyos, se usó siempre la distancia de 24 mm. En la norma se especifica una distancia entre apoyos diferente para muestras de 2 mm de grosor (32 mm) y para las de 1,5 mm (24 mm). Pero, debido a que la longitud de todas las muestras es constante (35 mm), se utilizó la misma distancia (24 mm) para los dos tipos de probetas.



Ilustraciones 21-22: Máquina de ensayos universal Zwick/Roell con los aditamentos correspondientes para realizar los ensayos de dureza (A) y flexión (B).



Ilustración 23: Informe de calibración de la máquina de ensayos universal y de los utensilios empleados para medir la microdureza Knoop.

III.11. Microscopio óptico

Am Scope *MT-0215115147* (ver ilustración 24) fue el microscopio óptico empleado para poder medir la huella que deja el penetrador del sistema Knoop en cada una de las muestras de los materiales Structur[®] 3, Protemp[™] 4 y Unifast III.



Ilustración 24: Microscopio óptico Am Scope.

III.12. Micrómetro de tornillo

Instrumento de medición cuyo nombre deriva etimológicamente de las palabras griegas μικρο (micros, pequeño) y μετρον (metron, medición); su funcionamiento se basa en un tornillo micrométrico que sirve para valorar el tamaño de un objeto con gran precisión, en un rango del orden de centésimas o de milésimas de milímetro, 0,01 mm ó 0,001 mm (micras) respectivamente.

El micrómetro de tornillo (ver ilustración 25) se empleó, siguiendo la Norma UNE-EN ISO 9917-1: 2007,⁽¹⁷⁷⁾ para medir con precisión las muestras rectangulares y cilíndricas obtenidas antes de someterlas a los ensayos correspondientes.^(47, 60)



Ilustración 25: Comprobación, con el micrómetro de tornillo, del \varnothing de una muestra cilíndrica.

III.13. Máquina de ensayos: Compresión

Se empleó la máquina de ensayos, modelo PM 2/50 (capacidad 50 kN; nº de serie R5017), del Laboratorio de Materiales de la Universidad Carlos III de Madrid, para llevar a cabo el ensayo de compresión de los diferentes materiales. (Ver ilustraciones 26 y 27).

La máquina de ensayos tenía anexo el programa de ordenador SCM 3000 95. La máquina constaba de una célula de carga y un motor, encargado de situarse a la distancia correcta.

Todos los ensayos se realizaron en condiciones ambientales: $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$

Todos los instrumentos utilizados estaban calibrados.

Según la norma, la velocidad de ensayo se estableció en $(0,75 \pm 30)$ mm/min.^(162, 177)



Ilustración 26: Máquina de ensayos de compresión del Laboratorio de Materiales de la Universidad Carlos III de Madrid.



Ilustración 27: Máquina de ensayos de compresión del Laboratorio de Materiales de la Universidad Carlos III de Madrid. Detalle del modelo.

III.14. Máquina de termociclado

El termociclado ha sido comúnmente utilizado en la investigación odontológica desde el año 1952. Este sistema se utiliza convencionalmente para simular el envejecimiento *in vivo* de los materiales de restauración, sometiéndolos a cambios bruscos de temperatura durante cortos periodos de tiempo, en un intento de reproducir los cambios térmicos que ocurren en la cavidad oral.^{(38, 43, 49, 54, 66, 69, 103, 127, 141, 146, 147, 154, 163-}

^{165, 193-199)} En dicha cavidad, los materiales de restauración están sometidos a estrés térmico. Las tensiones térmicas cíclicas, junto con la presencia de agua y otros líquidos, tienen un papel importante en la degradación química por oxidación e hidrólisis.^(13, 38, 43, 69, 103, 127, 163, 165, 199)

Hay tres factores importantes para analizar y comprender mejor así la verdadera validez y los límites eventuales presentados por los ciclos térmicos: Temperatura, tiempo de permanencia y número de ciclos.^(43, 49, 54, 66, 69, 127, 141, 146, 163-165, 193, 197) El

tiempo de permanencia es el periodo de tiempo que la muestra se sumerge en un baño de una temperatura particular.^(54, 66, 69, 163, 200) Según los diferentes estudios consultados, la elección del tiempo de permanencia parece ser más bien arbitraria, pues existe una gran variabilidad entre ellos. Los tiempos de permanencia más comúnmente utilizados en cada baño o cuba térmica oscilan en un rango entre los 10 s y los 3 min, pasando por 15 s, 20 s, 30 s, 55 s, 60 s y 2 min.⁽⁵⁴⁾ Según la extensa revisión bibliográfica llevada a cabo por Morresi et al. (2014),⁽⁵⁴⁾ la moda, para el tiempo de permanencia, de todo el conjunto de estudios consultados fue de 30 s para cada cuba térmica. (Ver anexo VIII.4 en CD-ROM).

El mayor problema ha sido siempre la forma de estimar el **número de ciclos** que corresponden a un año de envejecimiento fisiológico en la cavidad oral. **Todavía no hay informes sobre el número de ciclos térmicos por unidad de tiempo *in vivo***. En los estudios experimentales publicados en los últimos 15 años, el número de ciclos empleado oscila entre los 100 y los 100.000.^(54, 69, 89, 163-165, 193) Dada la amplia variabilidad de datos y, puesto que la pretensión de nuestro proyecto fue intentar evaluar seis meses de envejecimiento *in vivo*, se siguieron las directrices llevadas a cabo en el Departamento de Estomatología I de la UCM, donde se establece que 20.000 ciclos de termociclado simulan 5 años de envejecimiento.

La **temperatura** es el único parámetro que permanece constante en los diferentes estudios *in vitro* consultados. De acuerdo con la norma ISO, para probar materiales dentales, baños térmicos de **5 °C** y **55 °C** se consideran los valores más cercanos a la fisiología de la cavidad oral. Temperaturas suficientemente extremas para proporcionar una simulación representativa de las fluctuaciones térmicas que tienen lugar *in vivo*.^(54, 66, 69, 141, 154, 164, 165, 193) (Ver anexo VIII.4 en CD-ROM).

La *International Organization for Standardization ISO TR 11405* (en el año 1994), consideró como protocolo más apropiado para simular el envejecimiento de los biomateriales, el siguiente:

-Número de ciclos: 500; temperatura: 5 °C- 55 °C; tiempo de permanencia: ≥ 20 s.^(54, 66)

En el presente proyecto de investigación, para llevar a cabo el envejecimiento artificial de las muestras, se utilizó una máquina de termociclado (ver ilustraciones 28 y 29) con las siguientes características: Las muestras se sumergieron en saliva artificial a 5 °C durante 30 s; a continuación tuvieron un periodo de descanso de 15 s; se volvieron a sumergir en saliva artificial, esta vez a 55 °C durante 30 s y a continuación otro periodo de descanso de otros 15 s. Estos cuatro pasos detallados anteriormente constituyen un ciclo de termociclado.^(69, 141, 146, 169, 172) La máquina estuvo en funcionamiento durante 2.000 ciclos.^(89, 127, 130, 131, 141, 173, 189, 201, 202)



Ilustración 28: Máquina de termociclado en funcionamiento. Ver vídeo en anexo VIII.4 en CD-ROM.

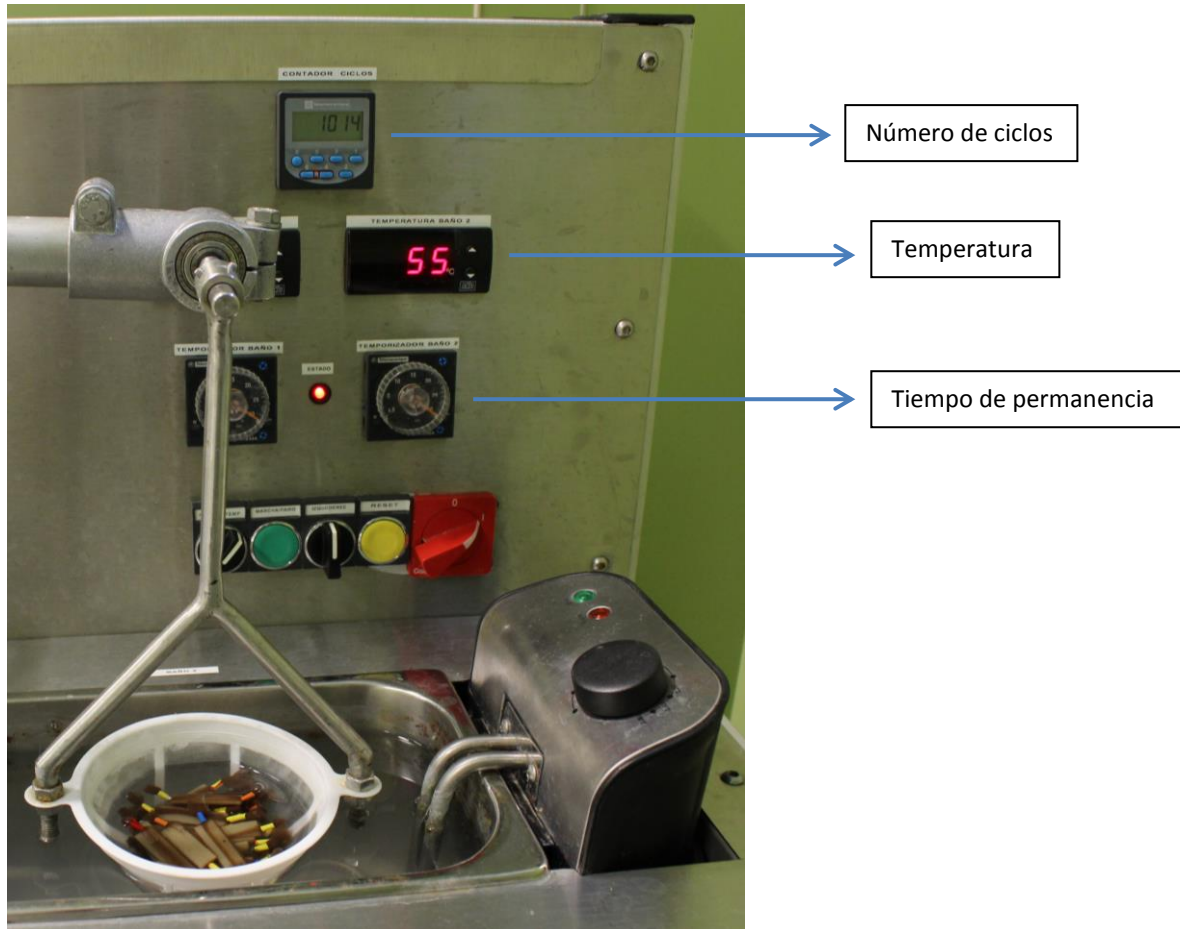


Ilustración 29: Máquina de termociclado. Detalle de los tres factores importantes.

III.15. Cámara fotográfica

Se empleó una cámara de fotos Canon EOS 600D, con un objetivo EFS 18-55 mm, con la cual se llevó a cabo todo el registro fotográfico del proyecto de investigación.

III.16. Método experimental

III.16.1. Ambiente de trabajo

La preparación de las muestras rectangulares y la medición de la estabilidad cromática y la fluorescencia se realizaron en el Laboratorio del Departamento de Estomatología I de la Universidad Complutense de Madrid (UCM).

Los ensayos de dureza y tensión/deformación fueron realizados en el departamento de Ingeniería de la empresa Euro Ortodoncia S.L.

La elaboración de las muestras cilíndricas se llevó a cabo en el departamento de Ingeniería de la empresa Euro Ortodoncia S.L. y el ensayo de compresión fue realizado en el Laboratorio de Materiales de la Universidad Carlos III de Madrid (UC3M).

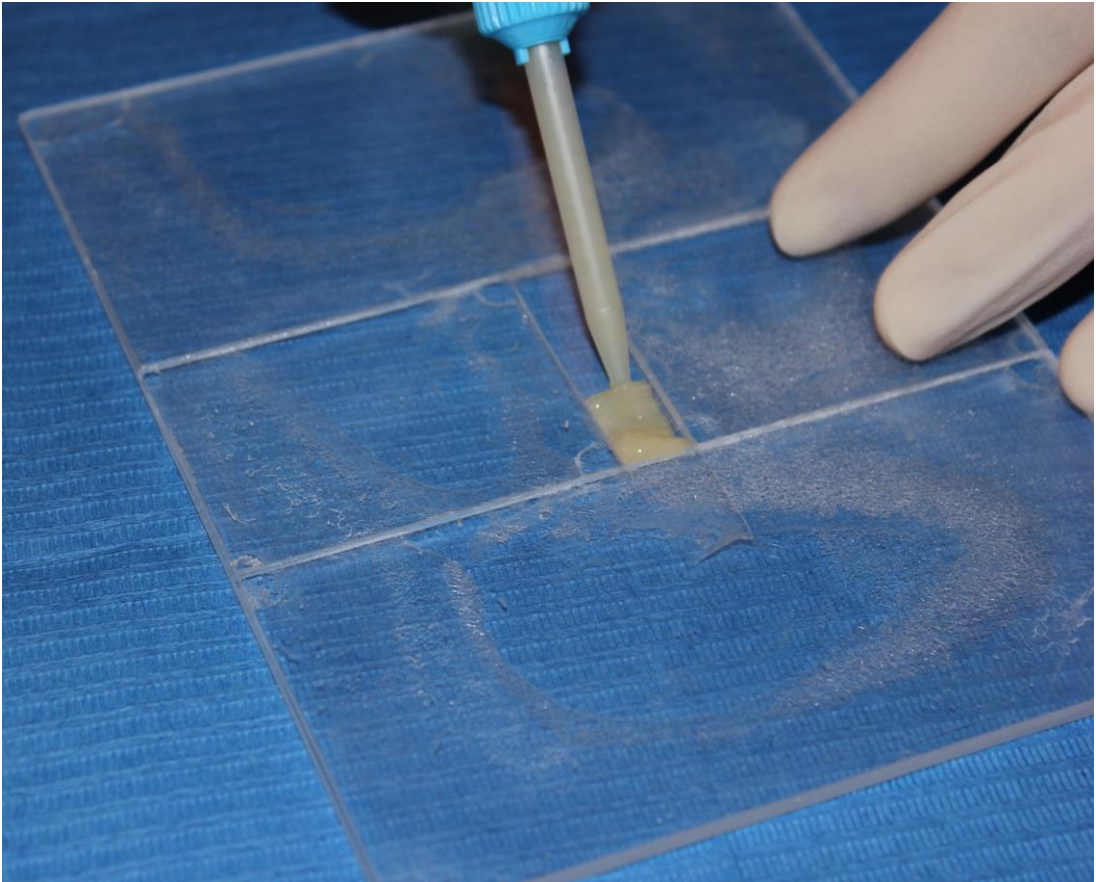
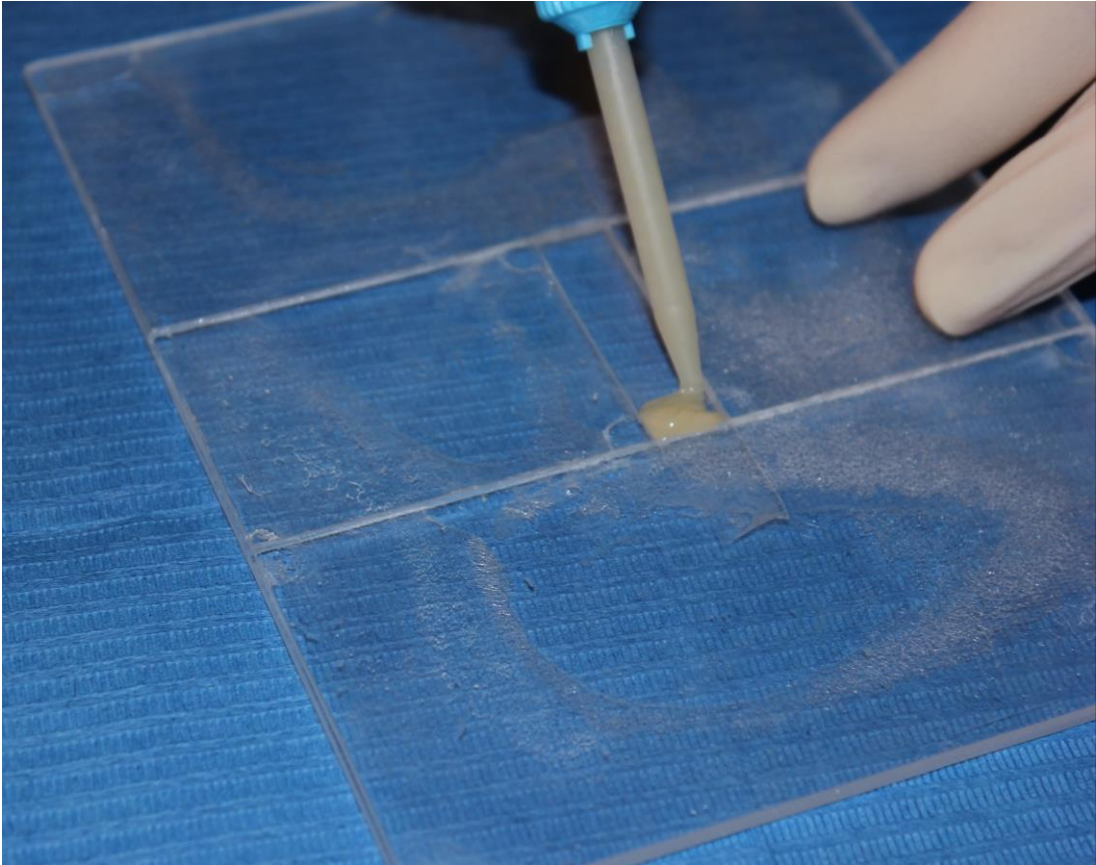
III.16.2. Preparación y manipulación de las muestras

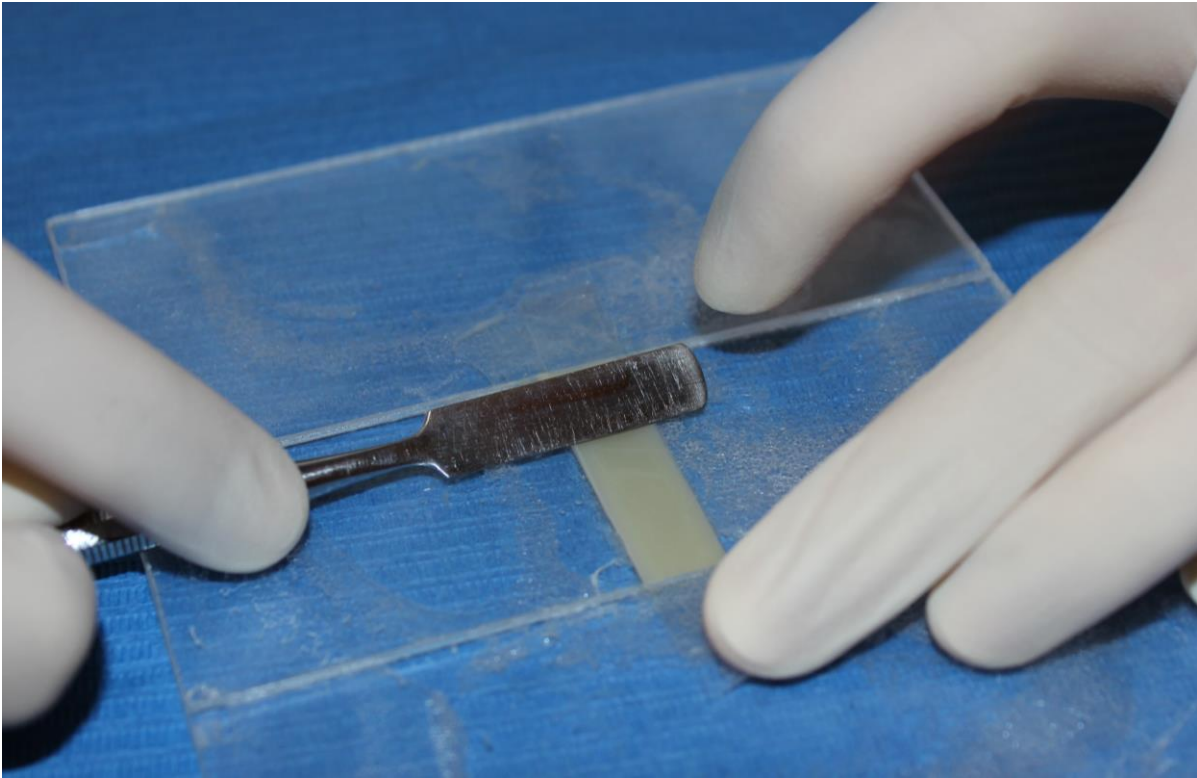
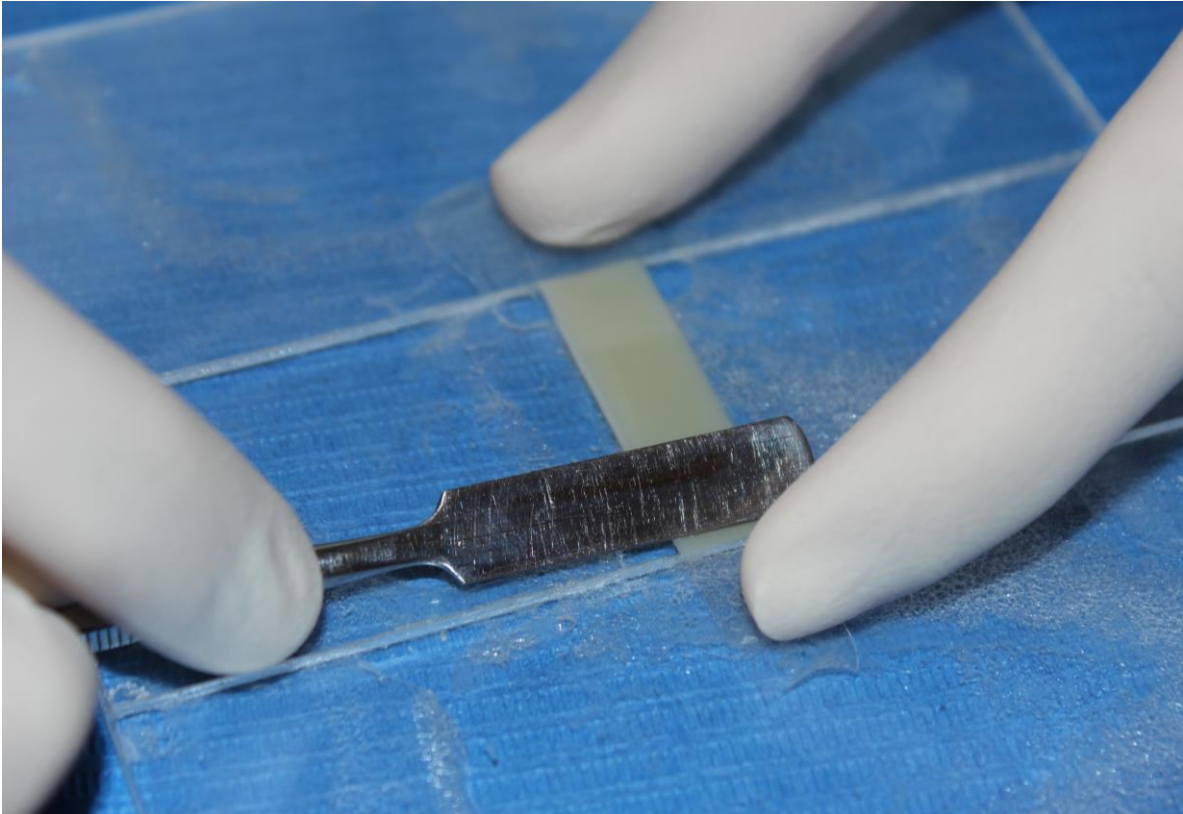
·Preparación de las probetas rectangulares⁽¹⁶²⁻¹⁶⁵⁾

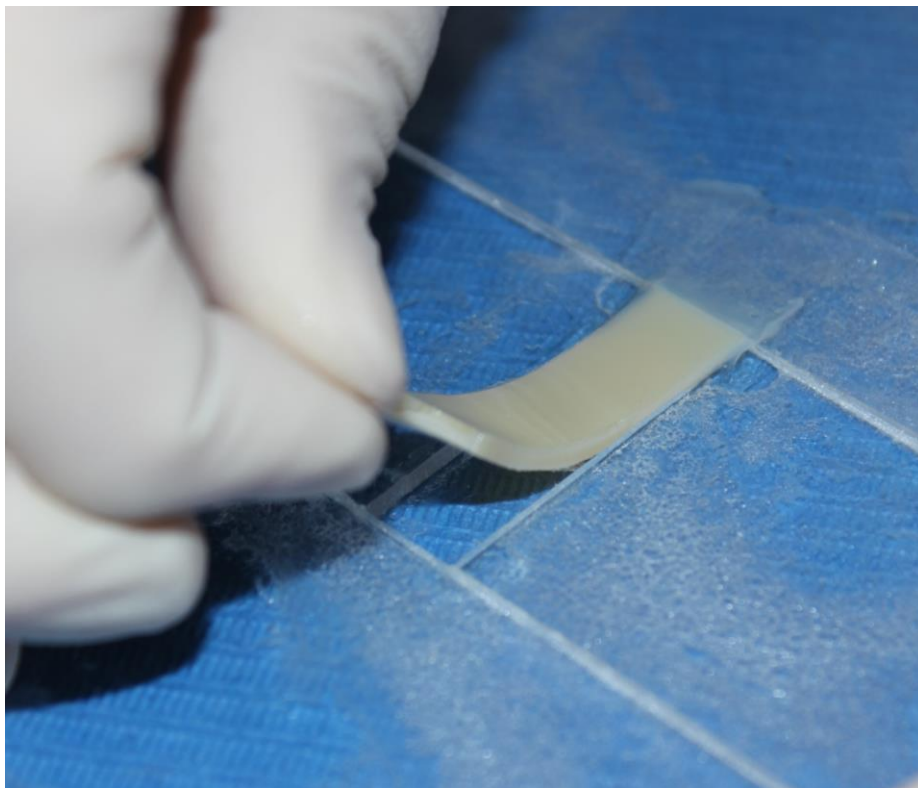
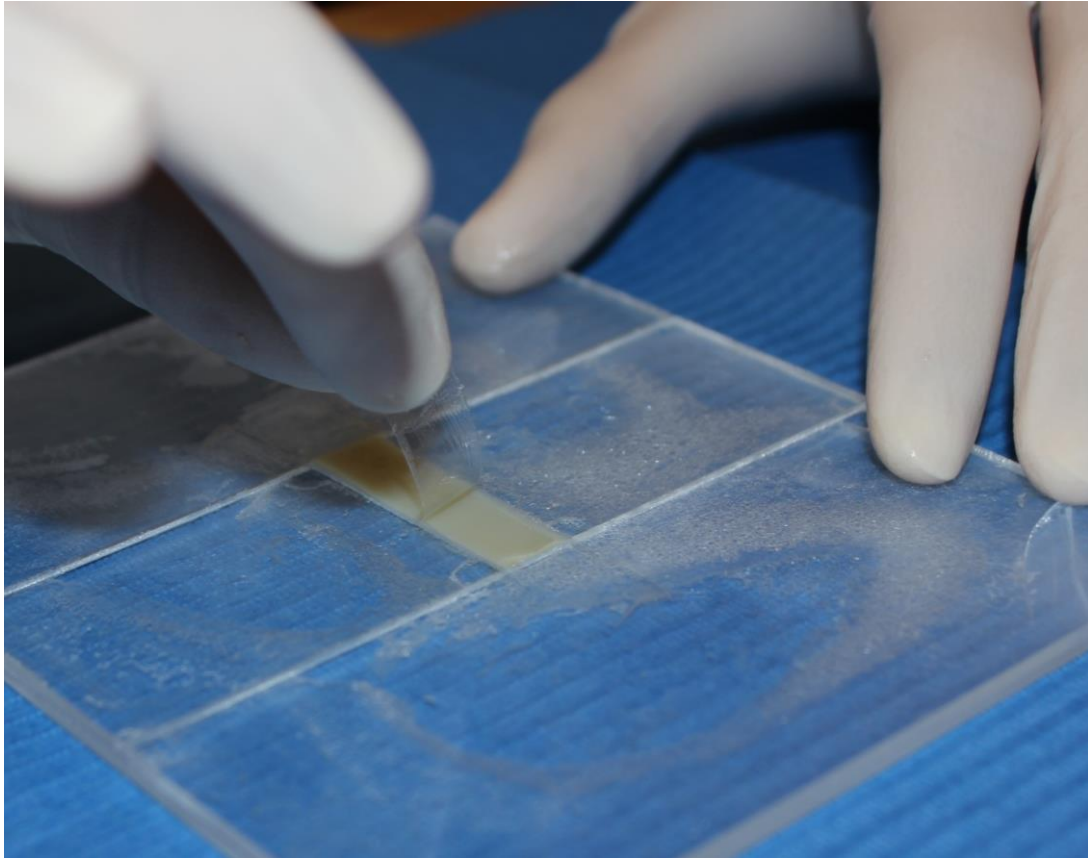
La resina se condensó en el “pocillo” del portamuestras correspondiente, siguiendo las instrucciones de manipulación recomendadas por el fabricante. La condensación se realizó interponiendo una tira de acetato entre el portaobjetos y el material y en la cara superficial de la resina, con el fin de evitar que la resina se adhiriera a la superficie del portamuestras y conseguir, además, que la superficie del material tuviera un acabado adecuado.^(10, 43, 51, 58, 66, 68, 109, 110, 116, 147, 148, 150, 151, 159, 161, 162, 198) (Ver ilustraciones 30-35).

Cada portamuestras se limpió con alcohol de 96° antes de confeccionar un nuevo espécimen.⁽¹³⁾

Para realizar los ensayos de estabilidad cromática, fluorescencia, dureza y flexión se fabricaron en total 90 pastillas (N=90). Las muestras se dividieron en tres grupos (n=30) codificados del 1 al 3. El **Grupo 1 (G1)** se correspondió con el material **Structur® 3**, el **Grupo 2 (G2)** con el material **Protemp™ 4** y el **Grupo 3 (G3)** con el material **Unifast III**. Cada grupo lo formaban un total de 30 pastillas: 15 pastillas de 1,5 mm de grosor y 15 pastillas de 2 mm de grosor. Para realizar el ensayo de flexión se fabricaron 90 pastillas adicionales (30 de cada material), es decir, 30 del Grupo 1, 30 del Grupo 2 y 30 del Grupo 3.







Ilustraciones 30-35: Pasos en la elaboración y obtención de las muestras rectangulares.

Se verificó, mediante observación visual y mediante la medición con micrómetro de tornillo, la rectitud de los bordes y la lisura de cada una de las probetas. Las probetas que mostraron desviaciones medibles u observables de uno o más de estos requisitos, fueron rechazadas.^(46, 173)

Tras finalizar el fraguado del material, cada una de las muestras se introdujo en un bote individual, identificado, que contenía saliva artificial (ver ilustración 36). A continuación, las muestras se almacenaron en el horno de cultivo a 37 °C y una humedad relativa del 100 % durante 24 h, para asegurar la rehidratación y la polimerización completa de cada uno de los materiales.^(10, 14, 22, 27, 43, 57, 60, 68, 89, 105, 106, 116, 144-146, 148, 149, 153, 161, 163, 169, 172)

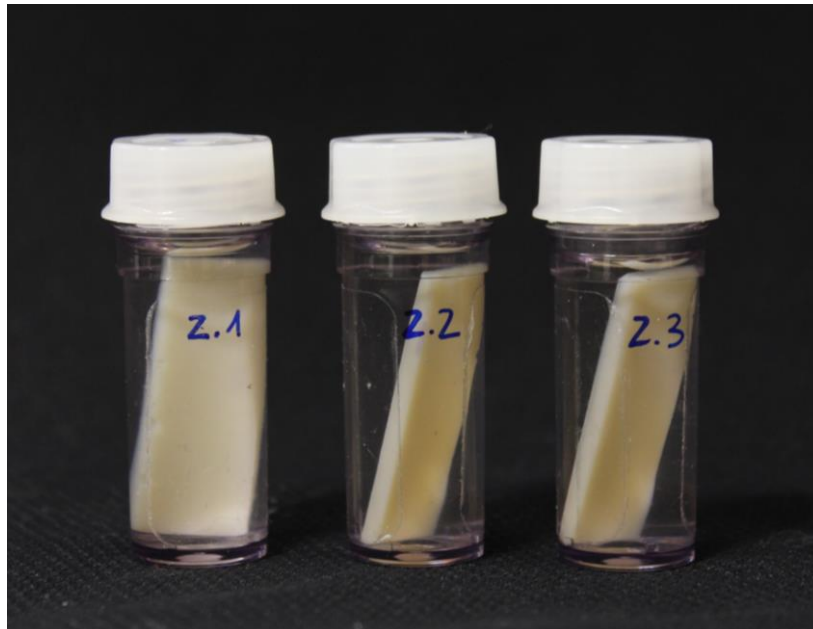


Ilustración 36: Muestras almacenadas en botes individuales que contienen saliva artificial.

·Preparación de las probetas cilíndricas

Para llevar a cabo el ensayo de compresión se fabricaron 5+5 cilindros de cada material (5 cilindros⁽⁶⁰⁾ para ser estudiados en T0 y 5 cilindros para ser estudiados en T180). Cada cilindro con las mismas dimensiones: 4 mm de \varnothing y 6 mm de altura,^(162, 177) siguiendo las directrices de la Norma UNE-EN ISO 9917-1: 2007.⁽¹⁷⁷⁾

El proceso de preparación de los cilindros queda detallado en la secuencia de ilustraciones 37-43.

El molde dividido, las placas y la mordaza de tornillo se acondicionaron a (23 ± 1) °C de temperatura. Antes de aplicar el producto sobre el portamuestras de acero inoxidable, cada una de las placas, el molde y la mordaza fueron rociadas con un aerosol de silicona, antiadherente, a base de aceite dimetilpolisiloxánico (Mirsil), para facilitar la retirada de las muestras una vez fraguado el material.

Con objeto de compactar la resina y evitar que quedase aire atrapado, se colocaron en el molde las cantidades necesarias de producto mezclado. Se rellenó el molde completo y después se colocó éste sobre la placa inferior, presionándolo ligeramente.

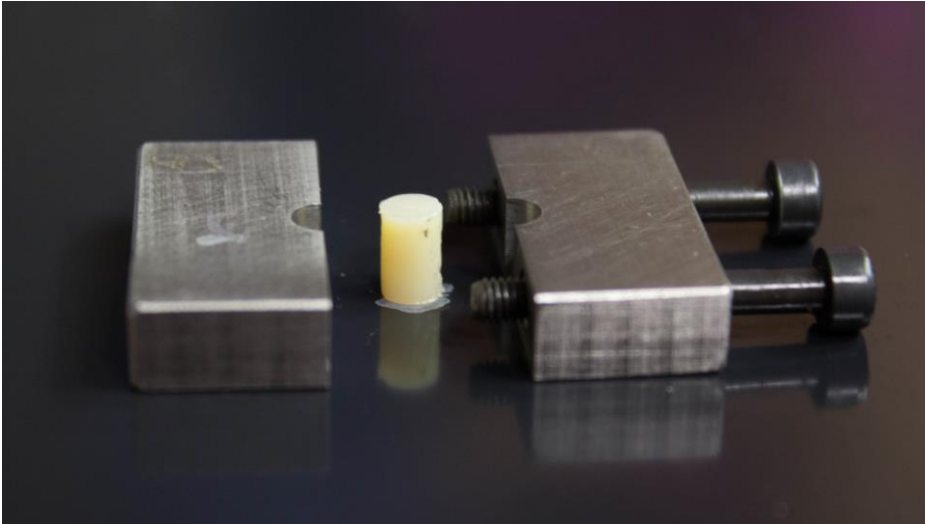
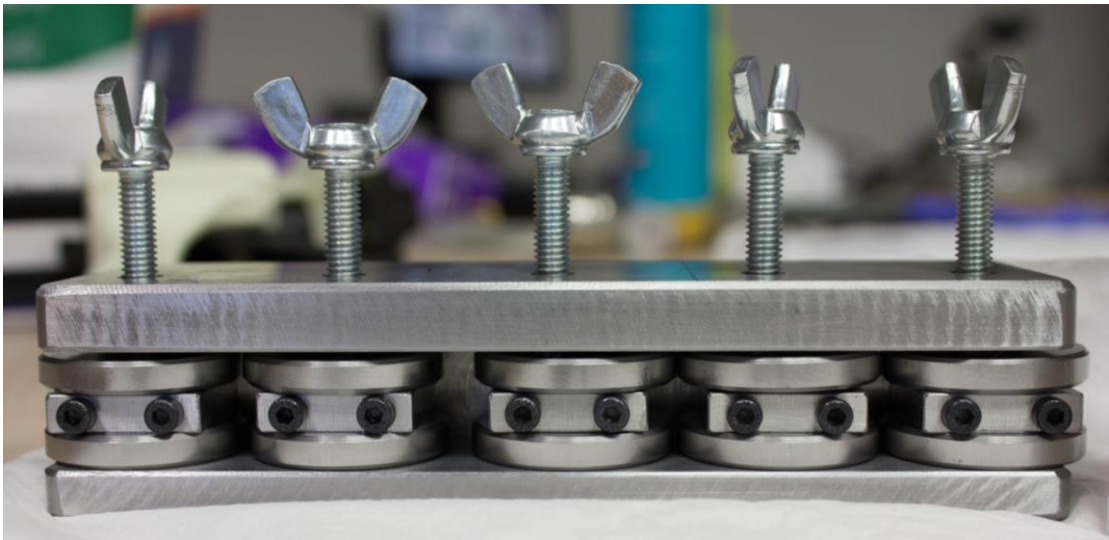
Se eliminó todo el exceso de material que saliese hacia el exterior, se colocó la placa superior en posición sobre el molde y se apretó contra éste. A continuación, se colocaron el molde y las placas en la mordaza de tornillo y se apretó ésta.

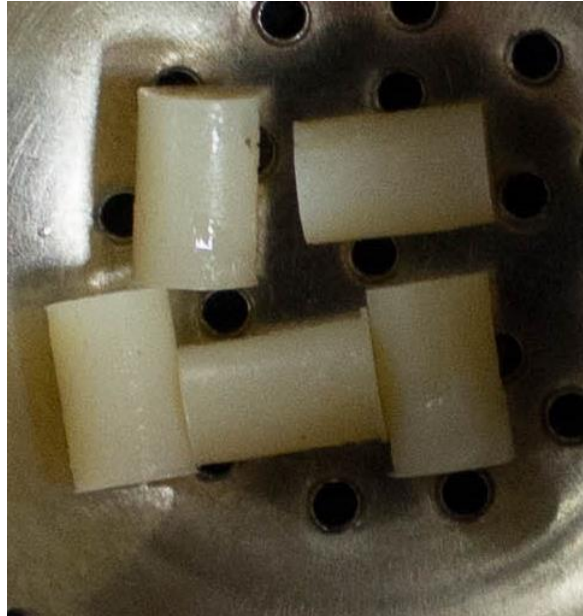
Una hora después de terminada la operación de mezclado, se retiraron las placas y se sacó la probeta del molde. Se rectificaron los extremos planos de la probeta así como los ángulos rectos, con respecto a su eje longitudinal. Para realizar esta operación, un método aceptable según la Norma ISO antes mencionada consiste en utilizar papel húmedo de carburo de silicio o lija de agua fina de grado 400.

Se comprobó visualmente, sin emplear ningún medio de aumento, si existían oquedades o bordes rotos. Las probetas que presentaron estos defectos fueron desechadas. Posteriormente, las dimensiones de cada probeta fueron ratificadas con un micrómetro de tornillo: cualquier muestra cuyas dimensiones no estuvieran dentro de los márgenes de error ($6 \pm 0,01$ mm de altura y $4 \pm 0,01$ mm de \emptyset), fue descartada.

Según lo definido en la Norma Internacional UNE-EN ISO 9917-1:2007, se prepararon cinco probetas de cada material e inmediatamente después de la preparación de cada una de ellas, se fueron introduciendo en un horno de cultivo, con una humedad del 100 %, a (37 ± 1) °C de temperatura durante $(23 \pm 0,5)$ h.⁽¹⁷⁷⁾







Ilustraciones 37-43: Pasos en la elaboración y obtención de las muestras cilíndricas.

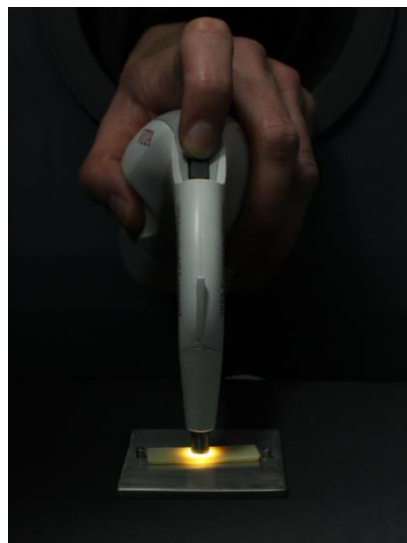
Posteriormente, se realizaron las mediciones correspondientes en T0 (24 h después de la confección de las muestras).

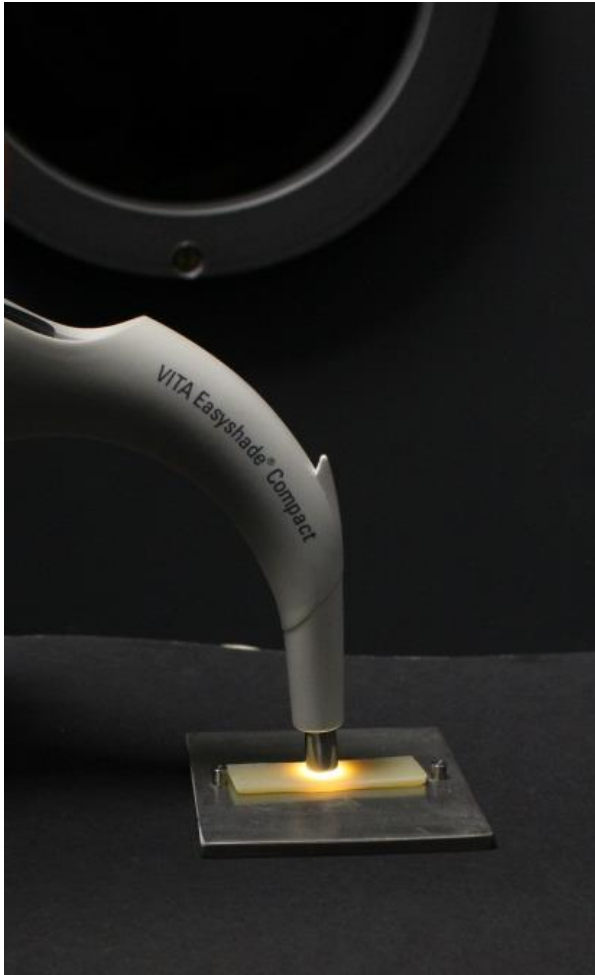
III.16.3. Medición de las muestras

MEDICIÓN DE LAS MUESTRAS EN T0:

·Para llevar a cabo las mediciones del **color** se utilizó el **espectrofotómetro** VITA Easyshade® Compact (S/N-Seriennummer: H013119; Model # DEASYCHP), previamente calibrado siguiendo las instrucciones del fabricante.^(62, 63, 66-70, 75, 76, 78, 79, 83, 86, 87, 115, 128) Cada muestra se extrajo de su bote de almacenamiento, se secó suavemente con una gasa y se colocó sobre un soporte opaco de acero inoxidable,^(43, 66, 75, 108) en el centro de la cámara neutra de color. La punta lectora del espectrofotómetro se colocó directamente sobre la parte central de la muestra, geometría de medición esférica 0/0,^(86, 122) y se realizaron **tres mediciones consecutivas**, levantando unos milímetros dicha punta lectora entre cada uno de los disparos.^(14, 15, 67, 68, 71, 75, 86, 105, 122) Cada una de las mediciones hecha con el espectrofotómetro registró valores de L^* , C^* , h° , a^* y b^* , que permitieron estudiar la estabilidad cromática a partir de los sistemas de medición establecidos por la Comisión

Internacional de la Iluminación (*Commission Internationale de l'Éclairage* (CIE)).^(14, 15, 51, 52, 62-71, 73, 75-79, 81-86, 90-92, 94-96, 105-107, 110-115, 117, 120, 122-125, 127) (Ver ilustraciones 44-49).





Ilustraciones 44-49: Toma de color de las muestras.

·Para estudiar la **fluorescencia**, las muestras fueron colocadas en el interior de la cabina opaca con luz ultravioleta⁽²⁷⁾ (TL2001 8W 3000K. 220-240V 50Hz). (Ver ilustraciones 50-51). Y, al igual que para la toma de color, se empleó el espectrofotómetro VITA Easyshade® Compact, calibrado.^(120, 138, 140, 141)



Ilustración 50: Fluorescencia visualmente medible de una de las muestras.

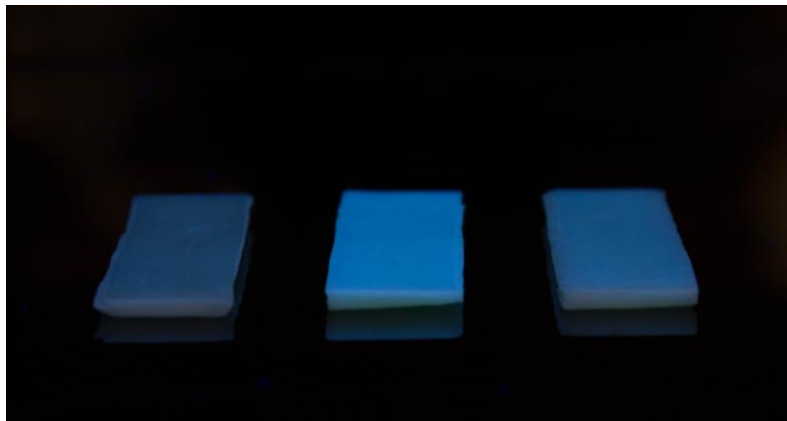


Ilustración 51: Fluorescencia visualmente medible de una muestra de cada material estudiado. De izquierda a derecha: Grupo 3, Grupo 2 y Grupo 1.

·El estudio de la **dureza** se llevó a cabo en el departamento de Ingeniería de la empresa Euro Ortodoncia S.L., siguiendo las directrices de las normas UNE-EN ISO 4545-1: 2005,⁽¹⁵⁷⁾ UNE-EN ISO 4545-2: 2005,⁽¹⁹⁰⁾ UNE-EN ISO 4545-3: 2005,⁽¹⁹¹⁾ y UNE-EN ISO 4545-4: 2005,⁽¹⁹²⁾ ratificadas por AENOR en 2006.

Como quedó indicado anteriormente, se utilizó la máquina de ensayos universal Zwick/Roell, con registro de software test Xpert® II V143 y un penetrador (*indenter*) del sistema Knoop, previamente calibrados.

El test de dureza de Knoop es una prueba de microdureza, un examen realizado para determinar la dureza mecánica especialmente de láminas finas de materiales, donde solo se pueden hacer hendiduras pequeñas para realizar la prueba.

Cada probeta se fue colocando de manera individual sobre un soporte rígido. Se puso el indentador o penetrador (con forma de diamante piramidal) en contacto con la superficie de ensayo (ver ilustración 52) y se aplicó una fuerza conocida en una dirección perpendicular a la superficie. Dicha fuerza se mantuvo entre 10-15 s.^(145, 150-153)

Sobre la superficie de cada probeta se hizo una huella que tenía la forma de una pirámide de base rómbica, con una relación entre la anchura y la altura media de 7:1; y con los ángulos de las caras respectivas de 172° para el borde largo y 130° para el borde corto. La profundidad de la incisión pudo ser aproximadamente de 1/30 de la longitud.

Después de la supresión de la fuerza de ensayo, F , se empleó el microscopio óptico Am Scope y el programa ImageJ para medir la diagonal mayor, d , de la huella dejada sobre la superficie. (Ver ilustraciones 53 y 54).

La dureza de Knoop, HK o KHN es proporcional al cociente entre la fuerza de ensayo y el área proyectada de la huella. Se obtiene con la siguiente fórmula:

-Dureza de Knoop (HK)= Constante x Fuerza de ensayo/Área proyectada de la huella;

$$HK = 0,102 \times F / cd^2$$

Siendo $F = 9,807$ N; c (constante del indentador) = 0,06972; y d , la longitud de la diagonal mayor de la huella, en mm.

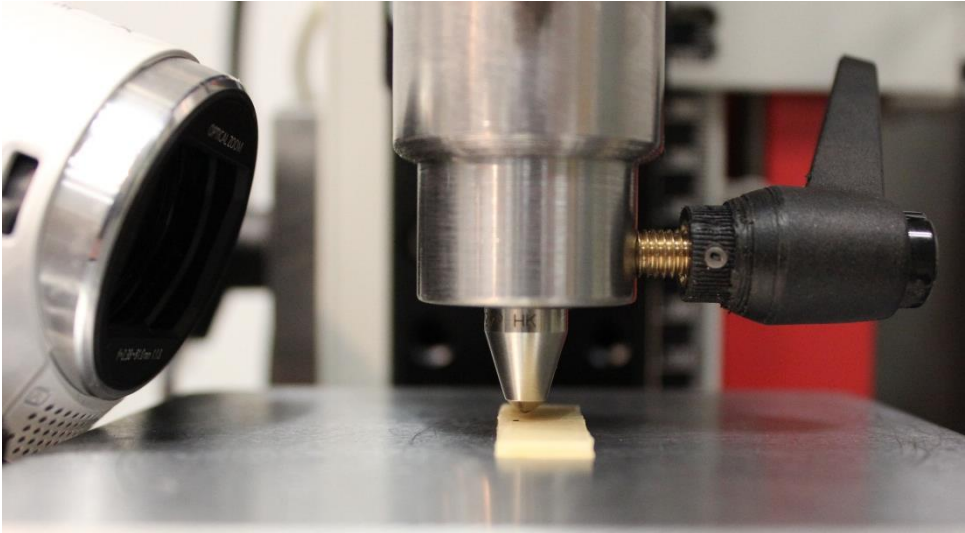


Ilustración 52: Indentador de dureza HK.

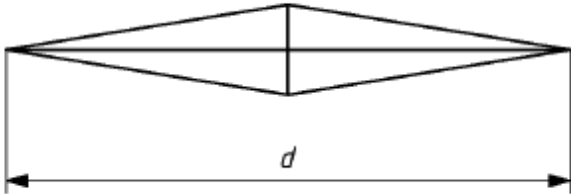


Ilustración 53: Huella Knoop

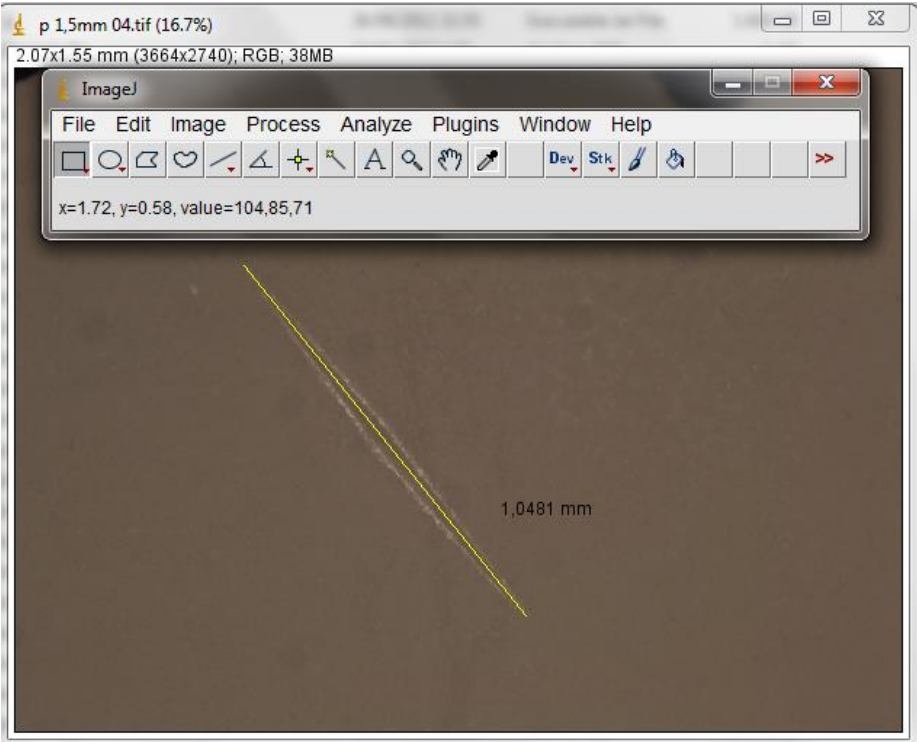


Ilustración 54: Programa ImageJ empleado para medir la diagonal mayor (d) de la huella.

·El **ensayo de flexión en tres puntos**^(15, 16, 22, 46, 47, 57, 60, 146, 147, 154, 159, 161-164, 169, 170, 172, 173) también se llevó a cabo en el departamento de Ingeniería de la empresa Euro Ortodoncia S.L., siguiendo las directrices de la norma UNE-En ISO 178: 2010.⁽¹⁷³⁾ Esta norma internacional especifica un método para la determinación de las propiedades de flexión de materiales plásticos rígidos y semirrígidos en condiciones definidas. Se define un tipo de probeta normalizada, pero se incluyen parámetros para utilizar tamaños de probetas alternativos, cuando sea apropiado. Se incluye un intervalo de velocidades de ensayo.⁽¹⁷³⁾

Se utilizó la máquina de ensayos universal^(15, 16, 46, 154, 161, 162, 165, 170) Zwick/Roell, con registro de software testXpert®II V143 y un soporte de apoyo de 24 mm, empleado tanto para las pastillas de 1,5 mm como para las de 2 mm de grosor.

Según la norma UNE-En ISO 178: 2010,⁽¹⁷³⁾ deben ensayarse al menos cinco probetas pero, el número de probetas puede ser mayor de cinco si se requiere mayor precisión en el valor medio. En el presente trabajo se estudiaron 15 probetas de 1,5 mm de grosor y 15 probetas de 2 mm de grosor, de cada uno de los tres materiales estudiados.

Cada probeta fue colocada sobre el soporte y se estableció la velocidad de ensayo en 1 mm/min, por ser ésta la velocidad de ensayo utilizada para probetas con espesores comprendidos entre 1 mm y 3,5 mm, según la norma UNE-En ISO 178: 2010.⁽¹⁷³⁾ (Ver ilustraciones 55-58). (Ver vídeo en anexo VIII.4 en CD-ROM).



Ilustración 55: Utillaje de la máquina Zwick/Roell para realizar ensayos de flexión.

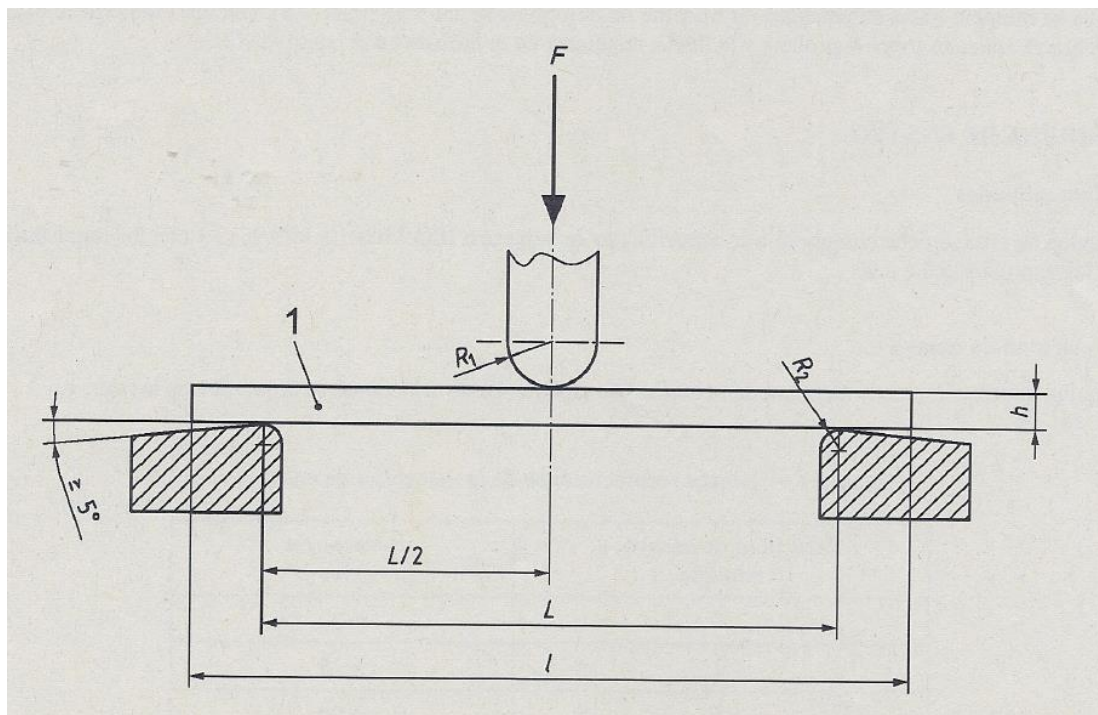


Ilustración 56: Posición de la probeta al comienzo del ensayo. Esquema.⁽¹⁷³⁾

Siendo 1 Probeta; F Fuerza aplicada; R_1 Radio del elemento de carga; R_2 Radios de los soportes; h espesor de la probeta; l longitud de la probeta; L Longitud de la distancia entre soportes.

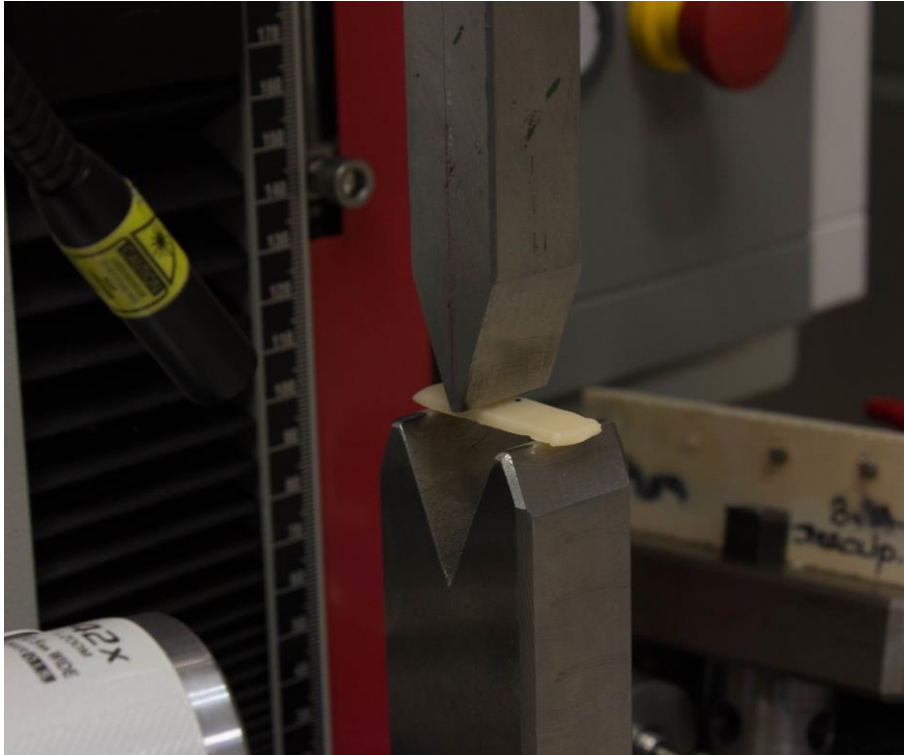


Ilustración 57: Posición de la probeta al comienzo del ensayo.

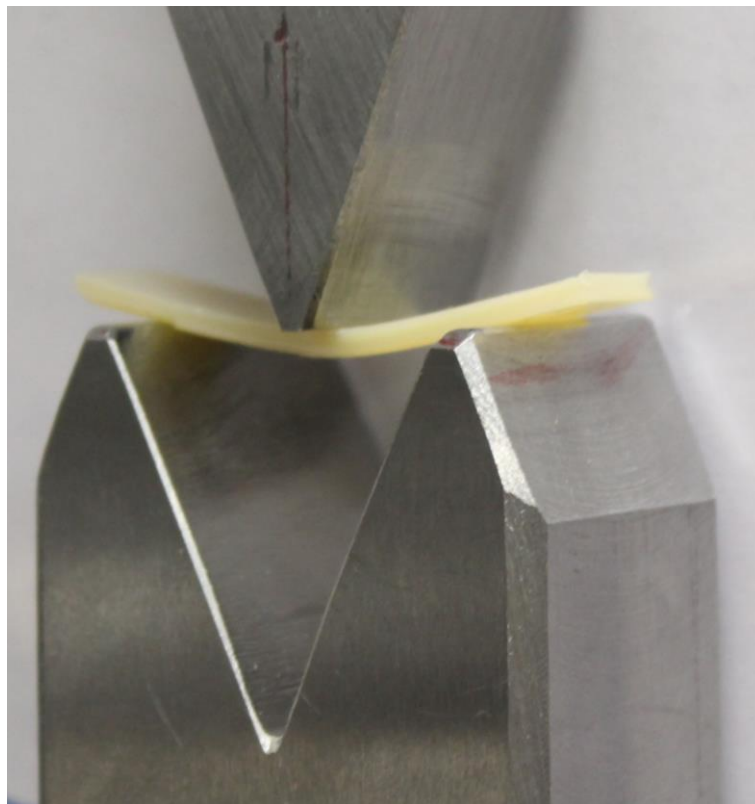


Ilustración 58: Posición de la probeta durante el ensayo de flexión.

Términos y definiciones:

Velocidad de ensayo, v : Velocidad del movimiento relativo entre los soportes y el borde del elemento de carga. Se expresa en milímetros por minuto (mm/min).

Esfuerzo de flexión, σ_f : Esfuerzo nominal de la superficie externa de la probeta en el punto de aplicación de la carga. Se expresa en megapascal (MPa= 10^6 Pa). (Ver ilustración 59).

Flecha, s : Distancia que la superficie inferior o superior de la probeta en el punto de aplicación de la carga se desvía de su posición original durante la flexión.

Flecha convencional, s_c : Flecha igual a 1,5 veces el espesor h de la probeta. Se expresa en milímetros (mm).

Deformación en flexión, ϵ_f : Variación fraccional nominal en la longitud de un elemento de la superficie exterior de la probeta en el punto de aplicación de la carga. Se expresa como una relación adimensional o como un porcentaje (%).

$$\epsilon_f = 6sh/L^2$$

$$\epsilon_f = 600sh/L^2 \%$$

Donde:

ϵ_f es el parámetro de deformación de flexión en cuestión, expresado como una relación adimensional o como un porcentaje.

s es la flecha, en mm.

h es el espesor, en mm, de la probeta.

L es la distancia entre apoyos, en mm.

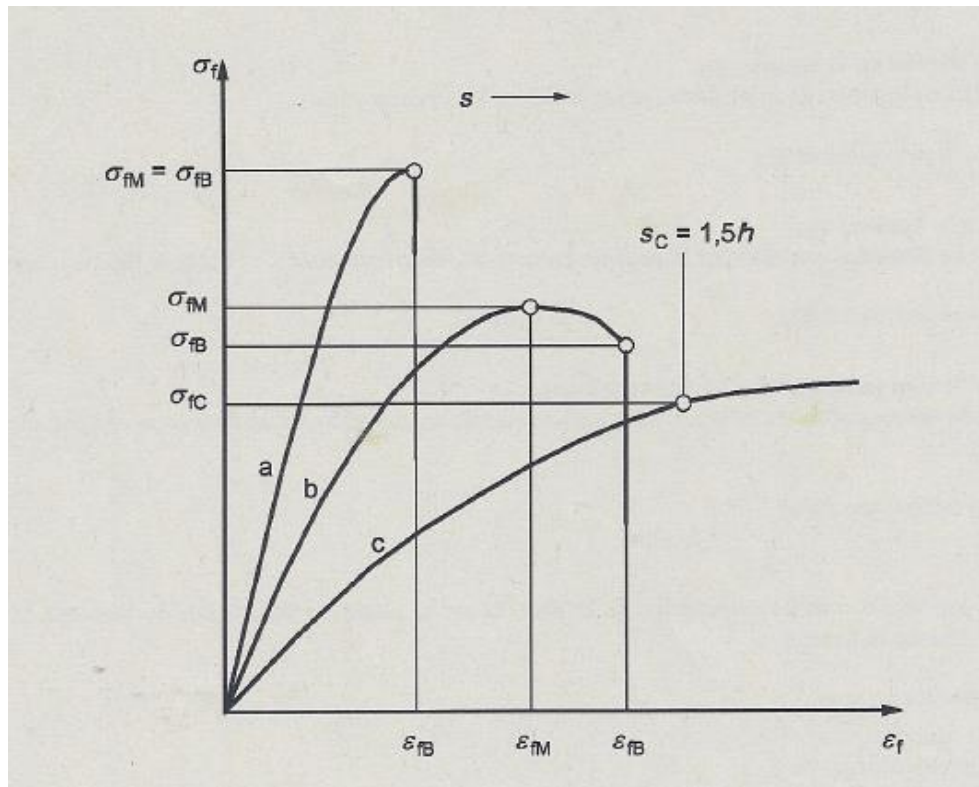


Ilustración 59: Curvas típicas de esfuerzo σ_f frente a la deformación ϵ_f y flecha s .⁽¹⁷³⁾

Curva a Probeta que rompe antes de la fluencia.

Curva b Probeta que muestra un máximo y rompe antes de la flecha convencional s_c .

Curva c Probeta que no muestra un máximo ni rompe antes de la flecha convencional s_c .⁽¹⁷³⁾

Resistencia a la flexión, σ_{fM} : Esfuerzo máximo de flexión soportado por la probeta durante un ensayo de doblado. Se expresa en N/mm^2 o megapascal (MPa).^(15, 16, 22, 46, 47, 57, 147, 149, 154, 161-164, 167, 169, 173) Según la norma UNE-EN ISO 178: 2010, la resistencia a la flexión se calcula a partir de la fórmula:

$$\sigma_{fM} = 3Fd/2wh^2$$

Donde:

F es la fuerza máxima aplicada, en N.

d es la distancia entre apoyos, en mm.

w es la anchura de la probeta, en mm.

h es el espesor de la probeta, en mm. ^(15, 22, 57, 60, 146, 147, 154, 159, 162-164, 169, 172, 173)

Plástico rígido: Un plástico que tiene un módulo de elasticidad en flexión o, si esto no es aplicable, entonces en tracción, superior a 700 MPa. ⁽¹⁷³⁾

Módulo de elasticidad: El módulo de elasticidad (MPa) representa la rigidez de un material. Cuanto mayor es el módulo de elasticidad, menor será la deformación elástica y más rígido será el material. ^(15, 47, 170, 173) Para la determinación de dicho módulo, se calculan las flechas s_1 y s_2 , que corresponden a los valores dados de deformación en flexión $\epsilon_{f1} = 0,0005$ y $\epsilon_{f2} = 0,0025$, mediante la siguiente ecuación:

$$s_i = \epsilon_{fi} L^2 / 6h \quad (i=1 \text{ ó } 2)$$

Donde:

s_i es una de las flechas, en mm.

ϵ_{fi} es la deformación en flexión correspondiente, cuyos valores ϵ_{f1} y ϵ_{f2} se han dado anteriormente.

L es la distancia entre apoyos, en mm.

h es el espesor de la probeta en mm.

Se calcula el módulo de flexión E_f expresado en MPa, utilizando la siguiente ecuación:

$$E_f = \sigma_{f2} - \sigma_{f1} / \epsilon_{f2} - \epsilon_{f1}$$

Donde:

σ_{f1} es el esfuerzo de flexión, expresado en MPa, medido para la flecha s_1 .

σ_{f2} es el esfuerzo de flexión, expresado en MPa, medido para la flecha s_2 .

Todas las ecuaciones referidas a propiedades de flexión mantienen su validez solo para un comportamiento lineal de la relación esfuerzo/deformación; así para la mayoría de los plásticos estas ecuaciones solo son exactas para pequeñas deformaciones. Las ecuaciones dadas pueden, sin embargo, utilizarse para fines de comparación.

Principio de método:

Una **probeta** de sección **rectangular**, que descansa sobre **dos soportes**, se **flexiona por un elemento de carga que actúa sobre el punto medio de la probeta entre los soportes**. La probeta se flexiona de esa forma a una velocidad constante, hasta que se rompe o hasta que alcanza un máximo de deformación del 5 %. Durante este procedimiento, se mide la fuerza aplicada sobre la probeta y la flecha resultante de la probeta en el punto medio.^(15, 154, 162, 163, 173)

En el presente proyecto de investigación se analizaron las dos magnitudes más comúnmente estudiadas para conocer la resistencia a las fuerzas oclusales de un material determinado: la **resistencia a la flexión, σ_{fM} (MPa)** y el **módulo de elasticidad (MPa)**.^(25, 44, 154, 155, 159-165)

Las gráficas de flexión y las curvas típicas de esfuerzo frente a deformación, donde se refleja el comportamiento de cada grupo de muestras estudiadas en esta Tesis Doctoral, quedan adjuntas a este trabajo en el anexo (ver anexo VIII.2 y anexo VIII.4 en CD-ROM).

·Para estudiar la resistencia a la **compresión**, se siguieron las directrices de la norma UNE-EN ISO 9917-1: 2007.⁽¹⁷⁷⁾

Las muestras cilíndricas se elaboraron a partir de cinco moldes divididos, placas y una mordaza de tornillo, fabricados en el departamento de Ingeniería de Euro Ortodoncia. El ensayo de compresión fue realizado en el Laboratorio de Materiales de la Universidad Carlos III de Madrid (UC3M).

La preparación de las probetas quedó detallada en un apartado anterior.

Procedimiento:

24 h después de finalizar la operación de mezclado de los materiales, se colocó cada probeta cilíndrica con los extremos planos entre las placas del medidor mecánico, y se aplicó una carga de compresión a lo largo del eje longitudinal de la probeta. La dirección de la fuerza fue la misma para todas las muestras.^(18, 155, 162, 175) (Ver ilustraciones 60-62).



Ilustración 60: Máquina de ensayos de compresión del Laboratorio de Materiales de la UC3M.

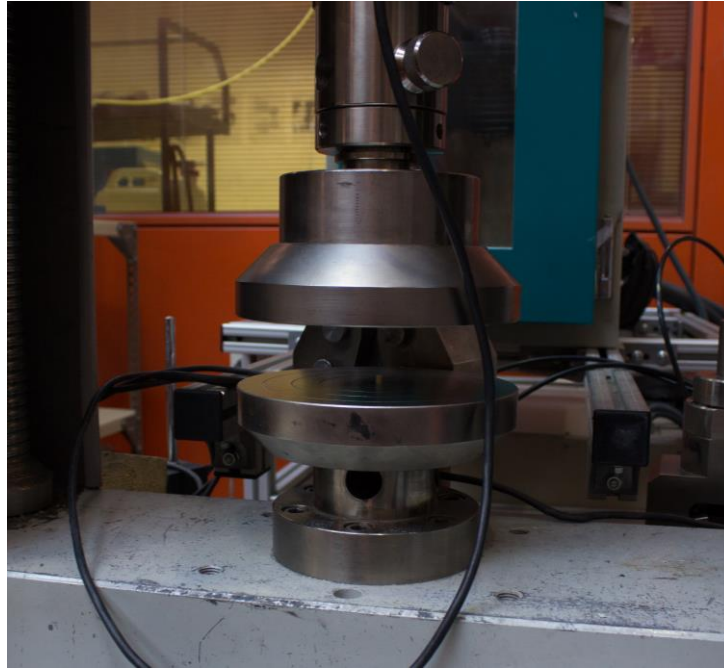


Ilustración 61: Máquina de ensayos de compresión. Detalle de las placas del medidor metálico con una probeta cilíndrica en su interior.

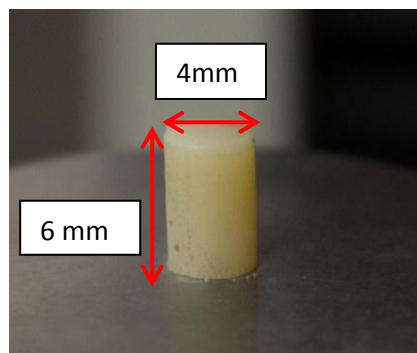


Ilustración 62: Detalle de una de las muestras cilíndricas.

El aplicador de carga hizo un movimiento vertical descendente sobre la muestra, aplicando una fuerza vertical continua sobre el espécimen.^(18, 162, 175)

Se registró la fuerza máxima aplicada, en Newtons (N), en el momento en que se rompió la probeta (ver ilustraciones 63 y 64), y después se calculó la resistencia a la compresión, C (MPa), aplicando la fórmula:

$$C = 4p/\pi d^2$$

Donde:

p es la fuerza máxima aplicada, en N.

d es el \emptyset de la probeta, en mm.^(60, 155, 177)



Ilustración 63: Detalle de las probetas cilíndricas de cada uno de los tres materiales estudiados, después de haber sido sometidas al ensayo de compresión.

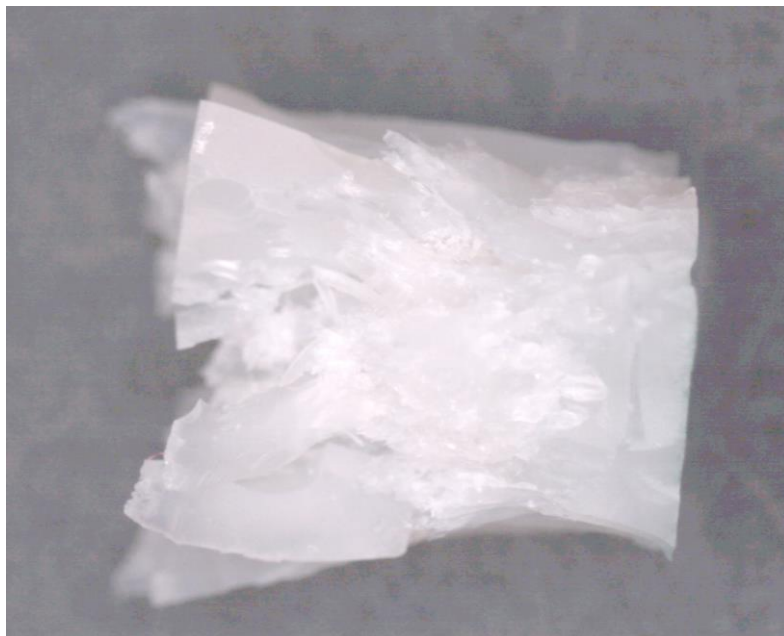


Ilustración 64: Imagen al microscopio de una de las probetas cilíndricas, después de haber sido sometido el material al ensayo de compresión.

MEDICIÓN DE LAS MUESTRAS EN T180:

Una vez finalizados los estudios anteriormente descritos, en T0, las muestras fueron sometidas a un proceso de termociclado o envejecimiento artificial acelerado.

Para los ensayos de flexión y compresión fue necesario fabricar nuevas probetas pues uno de los desencadenantes de estos dos ensayos es el total asolamiento de cada uno de los ejemplares.

Para poder llevar a cabo el proceso de termociclado, previamente y, de forma individual, cada muestra fue envuelta en nylon y clasificada mediante un código de colores (ver ilustración 65).

El conjunto de las muestras se depositó en el recipiente móvil de la máquina de termociclado (ver ilustración 66). Las cubas (recipientes) de la máquina se llenaron con saliva artificial y se programó para llevar a cabo 2.000 ciclos de envejecimiento artificial.

La temperatura de una de las cubas fue de 5 °C y la de la otra cuba de 55 °C. Durante cada ciclo, las muestras permanecieron 30 s en la cuba fría y 30 s en la cuba caliente, intercalando entre una y otra periodos de descanso de 15 s. (Ver ilustración 67).^(69, 89, 127, 130, 131, 141, 146, 164, 173, 189, 193, 197, 201, 202) (Ver vídeo en el anexo VIII.4 en CD-ROM).

Una vez finalizado el termociclado, se limpiaron las muestras con agua destilada y se secaron con gasas estériles.^(13, 197) Las muestras fueron sometidas al estudio de la estabilidad cromática, fluorescencia, dureza, flexión y compresión, en T180.

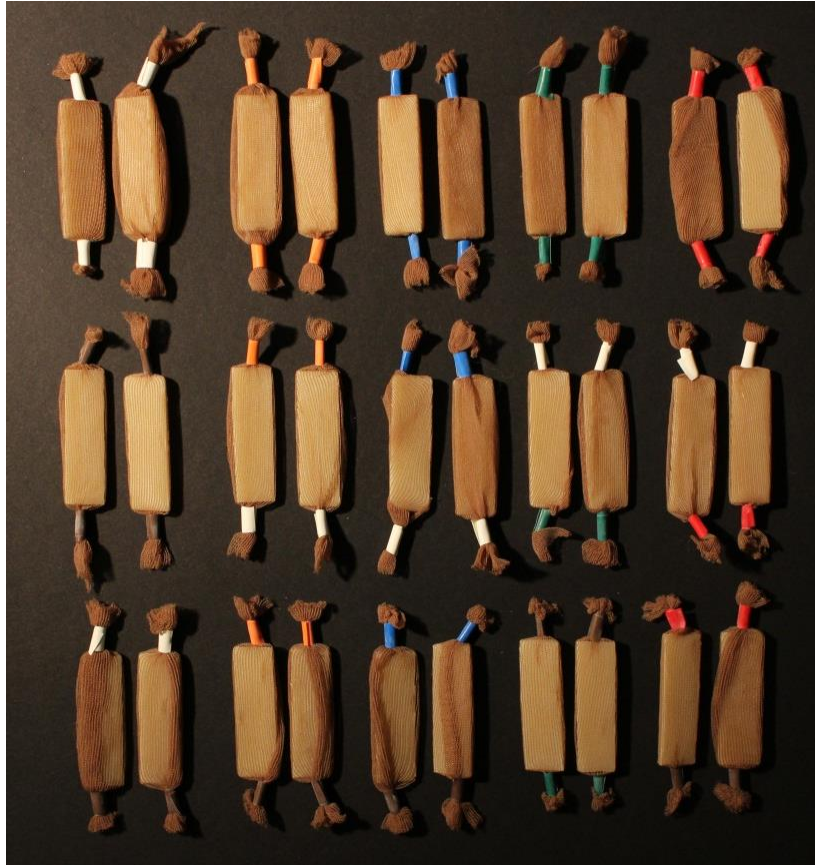


Ilustración 65: Treinta muestras de un mismo material antes de ser introducidas en la máquina de termociclado.



Ilustración 66: Muestras rectangulares depositadas en el recipiente móvil de la máquina de termociclado.



Ilustración 67: Máquina de termociclado en funcionamiento.

IV. RESULTADOS

La totalidad del análisis y tratamiento estadístico de los resultados obtenidos fue llevado a cabo por los profesionales de la empresa 3 datos®, a quienes se les facilitaron las gráficas, tablas y valores obtenidos para su correcta interpretación. Solo fueron nombrados los tres grupos de estudio con sus correspondientes codificaciones: Grupo 1, Grupo 2 y Grupo 3, sin facilitar más datos comerciales de los productos.

ESTABILIDAD CROMÁTICA

1.- *Análisis exploratorio y descriptivo previo*

Se dispuso de 90 pastillas, 30 de cada material, 15 de cada grosor. Todas ellas fueron medidas en dos momentos temporales: al inicio (T0) y después de un proceso de termociclado (T180).

Como en ocasiones anteriores, dado que en cada medición se efectuaron tres disparos con el espectrofotómetro, en primer lugar se calculó la media aritmética de los valores medidos con objeto de minimizar el posible error de medida del instrumento y garantizar una mayor fiabilidad.

Con estos valores únicos por pastilla, se realizó el análisis exploratorio y descriptivo de todas las variables de estabilidad cromática incluyendo la determinación de la existencia, o no, de valores extremos (*“outliers far out”*) y el análisis del ajuste al modelo de la campana normal de Gauss con el test de Kolmogorov-Smirnov (K-S) debido a que el número de valores medios que se analizaron fue >50.

Los resultados de estos análisis no revelaron la existencia de ningún valor atípico en las variables relacionadas con la estabilidad cromática. Pero en el estudio de la bondad de ajuste con el modelo de la campana normal de Gauss, dicho ajuste se cumplió en tres de las variables (L^* , C^* y b^* en T0) con $p > 0,05$ y presentó un grado de desajuste leve/tolerable con $p > 0,01$ en otras tres (en L^* , C^* y b^* en T180). Pero en las variables h° y a^* , y en ambos momentos de medida, se observó un claro desvío con $p < 0,001$ con respecto al modelo normal. Como consecuencia de esto, los test estadísticos

paramétricos para los análisis de la significación de las diferencias tuvieron que ser contrastados con su alternativa no-paramétrica para comprobar si se obtuvieron resultados similares. La tabla 1 contiene los estadísticos descriptivos de las variables analizadas en esta propiedad.

Tabla 1: *Análisis descriptivo y exploratorio.* Estabilidad cromática en T0 y T180. Muestra completa (N=90).

Variable	L*		C*		h°		a*		b*		
	T0	T180	T0	T180	T0	T180	T0	T180	T0	T180	
Momento de medida											
Media	78,18	78,80	36,06	37,38	89,00	88,63	0,34	0,64	35,87	37,12	
IC 95%	L.Infer.	77,54	78,17	35,26	36,76	87,70	87,17	-0,43	-0,28	35,04	36,46
	L.Sup.	78,81	79,43	36,87	38,01	90,29	90,09	1,11	1,56	36,70	37,77
Mediana	78,13	79,85	36,15	38,13	92,69	90,83	-1,77	-0,57	35,92	38,04	
Mínimo	72,47	73,93	28,40	30,03	76,73	76,00	-3,37	-4,77	28,10	29,63	
Máximo	83,70	84,20	43,17	44,30	95,20	97,53	9,10	10,23	43,13	44,20	
Desv. Típica	3,03	2,99	3,85	3,00	6,18	6,97	3,68	4,37	3,97	3,13	
Rec. Intercuartil	5,46	5,53	6,04	4,18	12,19	14,67	6,87	9,14	6,06	4,65	
Asimetría	0,02	-0,22	-0,25	-0,54	-0,73	-0,47	0,79	0,49	-0,24	-0,56	
Curtosis	-1,11	-1,26	-0,94	-0,08	-1,36	-1,39	-1,09	-1,21	-0,95	-0,28	
p-valor (test K-S)	,301 ^{NS}	,020 [*]	,129 ^{NS}	,015 [*]	,000 ^{**}	,000 ^{**}	,000 ^{**}	,000 ^{**}	,112 ^{NS}	,029 [*]	

NS = no significativo ($p > ,050$) * Significativo al 5% desvío leve ** Altamente Significativo al 1% desvío grave

L* = **valor** C* = **intensidad** h° = **tinte** T0 = medida al inicio T180 = medida tras termociclado

2.- Diferencia entre materiales en origen (T0).

Se procedió a comparar las 5 variables de estabilidad cromática en sus valores en T0 con objeto de conocer si había diferencias en origen. Dado que se compararon 3 tipos de materiales en variables cuantitativas, la técnica estadística más adecuada es el Análisis de Varianza (ANOVA) de un factor de efectos fijos acompañado de un test de contraste múltiple a posteriori, en concreto se empleó el HSD de Tukey. Debido a la falta de ajuste al modelo normal en alguna de las variables, se usa como medio de comprobación de los resultados de ANOVA en su alternativa no paramétrica: H de Kruskal-Wallis; y como alternativa de Tukey el test de U de Mann-Whitney solo si fuese necesario. No obstante, dado el tamaño de la muestra era de esperar que la ausencia de normalidad no fuese un problema que implicase variación en la presencia/ausencia de significación.

La tabla 2 resume el resultado de todos estos análisis. Como se puede observar en ella, en todas las variables existen diferencias que son altamente significativas con $p < ,001$ y una potencia muy elevada ($> ,999$). El test alternativo no-paramétrico confirma esta significación. El tamaño del efecto es también muy alto (entre ,717 y ,976) por lo que

las diferencias entre los grupos son grandes. Las comparaciones por pares determinan también alta significación con $p < ,001$ entre todas las combinaciones posibles, por lo que se pudo ordenar a los materiales de la siguiente manera:

- variable L^* : Grupo 3 (81,73) > Grupo 2 (78,00) > Grupo 1 (74,79); (ver fig. 1).
- variable C^* : Grupo 2 (39,96) > Grupo 1 (36,20) > Grupo 3 (32,03); (ver fig. 2).
- variable h° : Grupo 2 (93,77) > Grupo 1 (92,79) > Grupo 3 (80,43); (ver fig. 3).
- variable a^* : Grupo 3 (5,38) > Grupo 1 (-1,74) > Grupo 2 (-2,61); (ver fig. 4).
- variable b^* : Grupo 2 (39,90) > Grupo 1 (36,15) > Grupo 3 (31,56); (ver fig. 5).

Tabla 2: Test de diferencia de medias. Variables de Estabilidad Cromática, según tipo de Material, en T0

Variable / Material	N	Media (IC 95%)	D.T.	Anova 1 factor			Tamaño efecto	Potencia	POST-HOC: Tukey Pares significativos	Test K-W P-sig	
				Valor F	gl	P-sig					
L^*	Grupo 1	30	74,79 (74,32 ; 75,26)	1,26	333,01	2 ; 87	,000**	,884	>,999	G3 > G2 p=,000** G3 > G1 p=,000** G2 > G1 p=,000**	,000**
	Grupo 2	30	78,00 (77,70 ; 78,31)	0,81							
	Grupo 3	30	81,73 (81,35 ; 82,11)	1,00							
C^*	Grupo 1	30	36,20 (35,53 ; 36,87)	1,80	110,05	2 ; 87	,000**	,717	>,999	G2 > G1 p=,000** G2 > G3 p=,000** G1 > G3 p=,000**	,000**
	Grupo 2	30	39,96 (39,37 ; 40,56)	1,59							
	Grupo 3	30	32,03 (31,03 ; 33,02)	2,66							
h°	Grupo 1	30	92,79 (92,53 ; 93,06)	0,71	1784,58	2 ; 87	,000**	,976	>,999	G2 > G1 p=,000** G2 > G3 p=,000** G1 > G3 p=,000**	,000**
	Grupo 2	30	93,77 (93,49 ; 94,05)	0,75							
	Grupo 3	30	80,43 (79,94 ; 80,92)	1,31							
a^*	Grupo 1	30	-1,74 (-1,88 ; -1,61)	0,36	970,45	2 ; 87	,000**	,957	>,999	G3 > G1 p=,000** G3 > G2 p=,000** G1 > G2 p=,000**	,000**
	Grupo 2	30	-2,61 (-2,77 ; -2,45)	0,43							
	Grupo 3	30	5,38 (4,93 ; 5,83)	1,21							
b^*	Grupo 1	30	36,15 (35,47 ; 36,83)	1,82	127,73	2 ; 87	,000**	,746	>,999	G2 > G1 p=,000** G2 > G3 p=,000** G1 > G3 p=,000**	,000**
	Grupo 2	30	39,90 (39,29 ; 40,52)	1,66							
	Grupo 3	30	31,56 (30,63 ; 32,50)	2,50							

NS = no significativo ($p > ,050$)

* Significativo al 5%

** Altamente Significativo al 1%

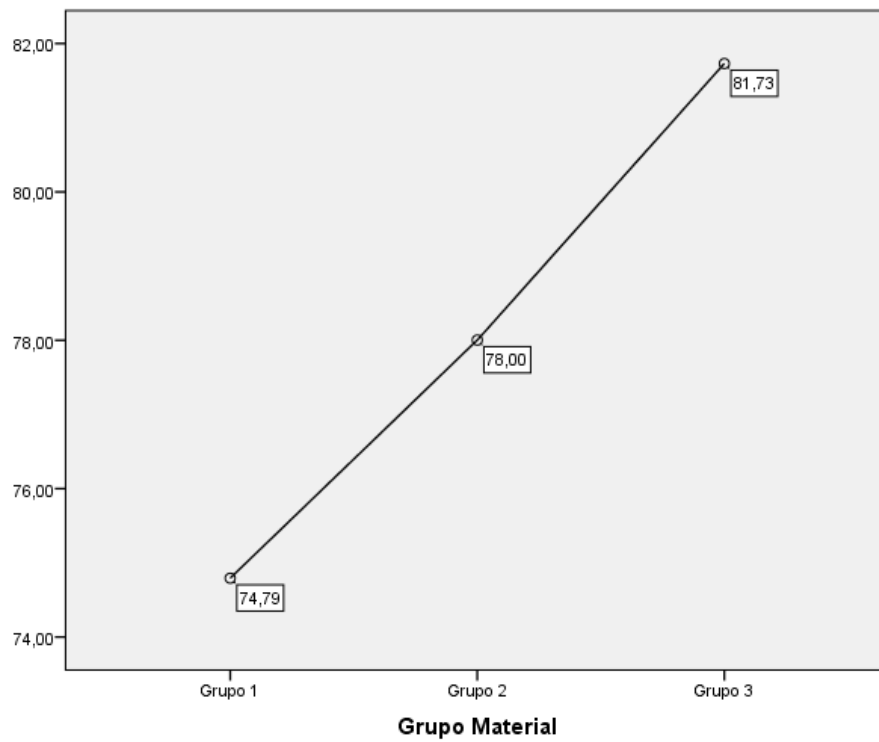
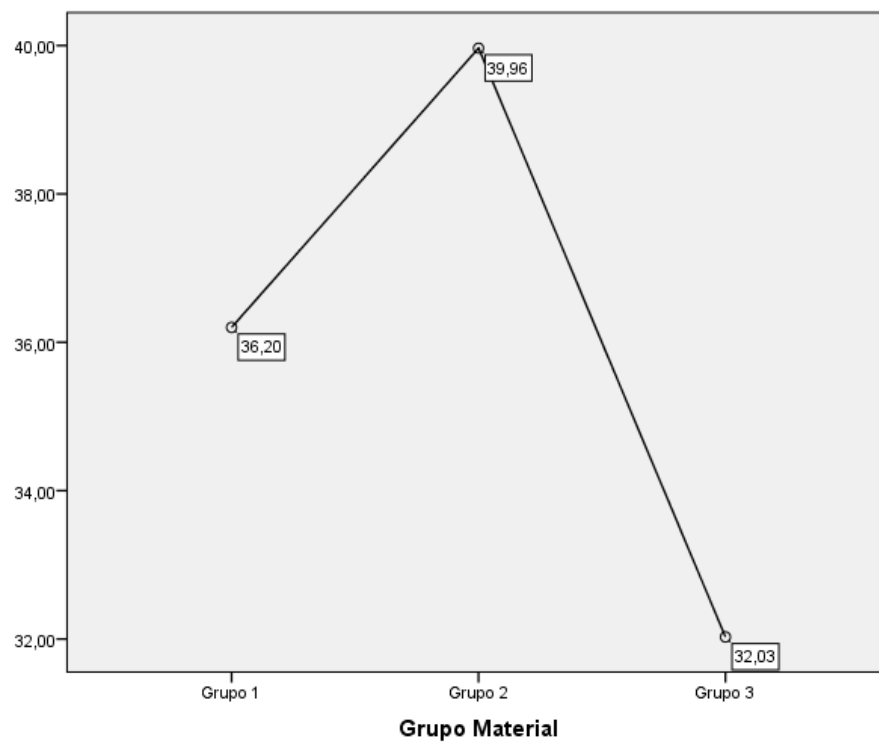
Fig. 1: Estabilidad cromática. Variable L^* . Medias por tipo de MATERIAL en T0**Fig. 2:** Estabilidad cromática. Variable C^* . Medias por tipo de MATERIAL en T0

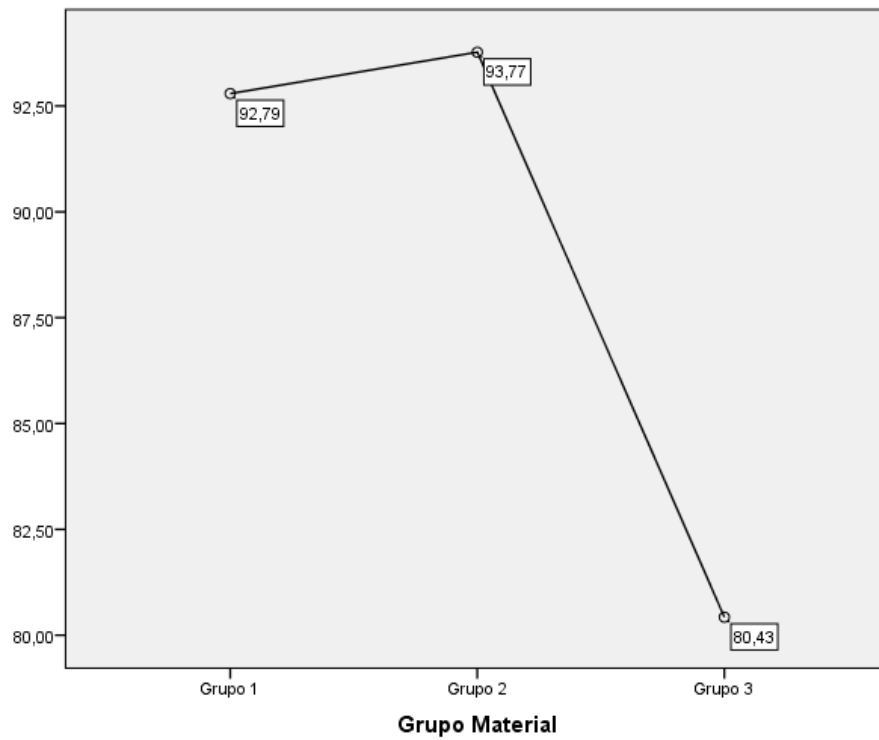
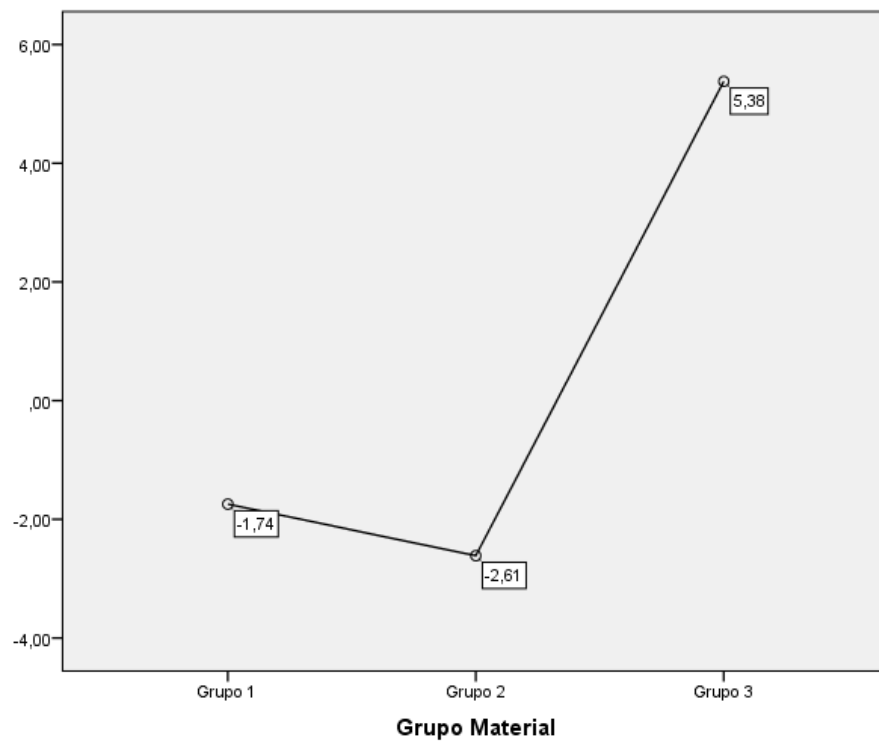
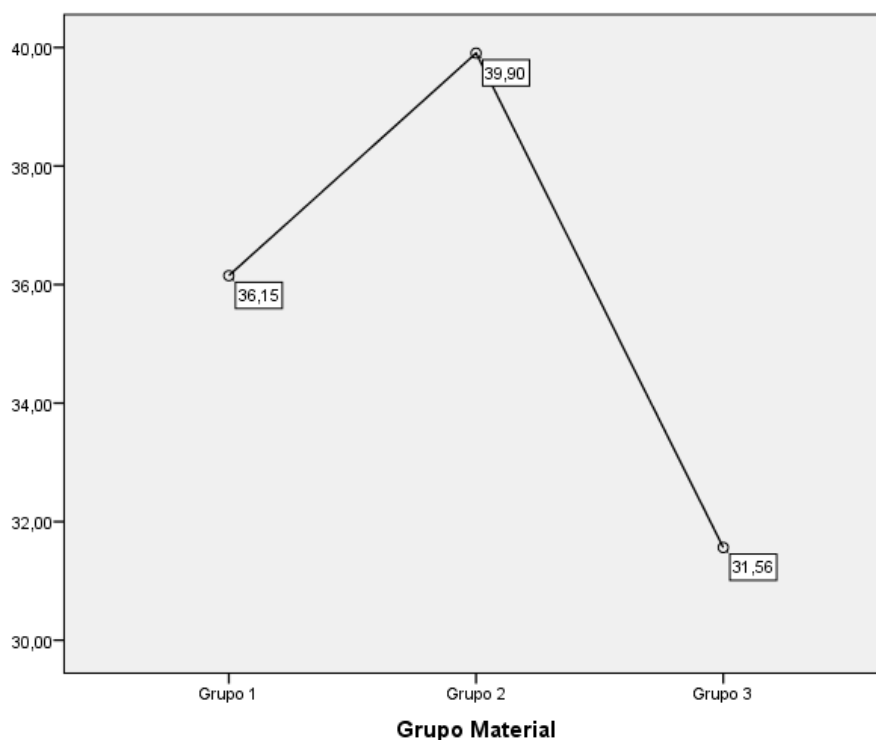
Fig. 3: Estabilidad cromática. Variable h° . Medias por tipo de MATERIAL en T0**Fig. 4:** Estabilidad cromática. Variable a^* . Medias por tipo de MATERIAL en T0

Fig. 5: Estabilidad cromática. Variable b^* . Medias por tipo de MATERIAL en T0



3.- Diferencia entre materiales después del termociclado (T180).

A continuación se realizó la misma comparación entre materiales con los valores obtenidos después de someter las muestras a un proceso de termociclado (T180) con objeto de saber si existían diferencias al cabo de ese tiempo. Se empleó el mismo procedimiento estadístico (ver tabla 3).

Se observó que se mantenía la significación de las diferencias con $p < ,001$ en todas las variables, junto a una elevada potencia ($> ,999$ de nuevo) y muy elevados tamaños del efecto (entre $,589$ y $,981$) aunque alguno disminuyó con respecto al anterior, en concreto en las variables C^* y b^* , donde había variación con respecto a los resultados en T0. La alternativa no-paramétrica confirmó estos resultados. Los test HSD por pares determinaron que en casi todos ellos existía una diferencia altamente significativa con $p < ,001$, que nos permitió ordenar a los materiales de la siguiente forma:

- variable L^* : Grupo 3 (81,68) > Grupo 2 (79,72) > Grupo 1 (75,01); (ver fig. 6).
- variable h° : Grupo 2 (95,69) > Grupo 1 (90,87) > Grupo 3 (79,34); (ver fig. 8).
- variable a^* : Grupo 3 (6,37) > Grupo 1 (-0,58) > Grupo 2 (-3,87); (ver fig. 9).

Pero en las variables C^* y b^* , como decíamos antes hubo una variación puesto que la diferencia en el par entre los grupos G1 y G2 ya no fue significativa ($p > ,05$) por lo que:

- variable C^* : [Grupo 2 (39,39) = Grupo 1 (38,58)] > Grupo 3 (34,18); (ver fig. 7).
- variable b^* : [Grupo 2 (39,19) = Grupo 1 (38,58)] > Grupo 3 (33,58); (ver fig. 10).

Tabla 3: Test de diferencia de medias. Variables de Estabilidad Cromática, según tipo de Material, en T180

Variable / Material	N	Media (IC 95%)	D.T.	Anova 1 factor			Tamaño efecto	Potencia	POST-HOC: Tukey Pares significativos	Test K-W P-sig	
				Valor F	gl	P-sig					
L^*	Grupo 1	30	75,00 (74,77 ; 75,24)	0,63							
	Grupo 2	30	79,72 (79,33 ; 80,10)	1,04	342,16	2 ; 87	,000**	,887	>,999	G3 > G2 p=,000** G3 > G1 p=,000** G2 > G1 p=,000**	,000**
	Grupo 3	30	81,68 (81,21 ; 82,16)	1,27							
C^*	Grupo 1	30	38,58 (38,30 ; 38,86)	0,75							
	Grupo 2	30	39,39 (38,67 ; 40,11)	1,94	62,43	2 ; 87	,000**	,589	>,999	G2 > G3 p=,000** G1 > G3 p=,000**	,000**
	Grupo 3	30	34,18 (33,20 ; 35,17)	2,64							
h°	Grupo 1	30	90,87 (90,78 ; 90,95)	0,22							
	Grupo 2	30	95,69 (95,26 ; 96,11)	1,14	2129,51	2 ; 87	,000**	,981	>,999	G2 > G1 p=,000** G2 > G3 p=,000** G1 > G3 p=,000**	,000**
	Grupo 3	30	79,34 (78,87 ; 79,80)	1,25							
a^*	Grupo 1	30	-0,58 (-0,64 ; -0,53)	0,14							
	Grupo 2	30	-3,87 (-4,11 ; -3,64)	0,64	1231,51	2 ; 87	,000**	,966	>,999	G3 > G1 p=,000** G3 > G2 p=,000** G1 > G2 p=,000**	,000**
	Grupo 3	30	6,37 (5,91 ; 6,84)	1,25							
b^*	Grupo 1	30	38,58 (38,30 ; 38,86)	0,75							
	Grupo 2	30	39,19 (38,45 ; 39,94)	1,99	81,13	2 ; 87	,000**	,651	>,999	G2 > G3 p=,000** G1 > G3 p=,000**	,000**
	Grupo 3	30	33,58 (32,67 ; 34,50)	2,44							

NS = no significativo ($p > ,050$)

* Significativo al 5%

** Altamente Significativo al 1%

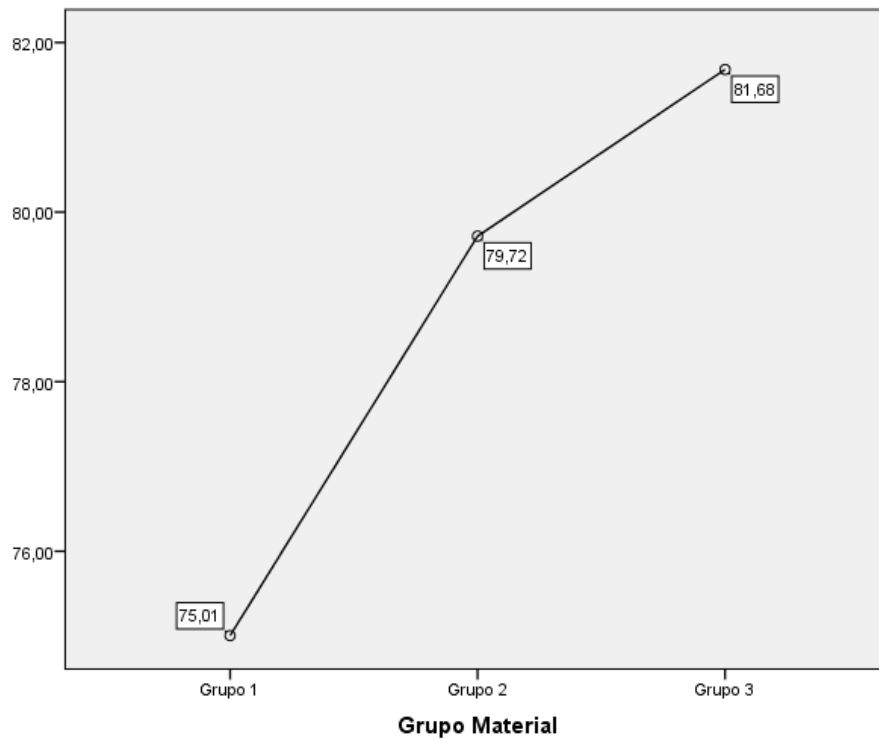
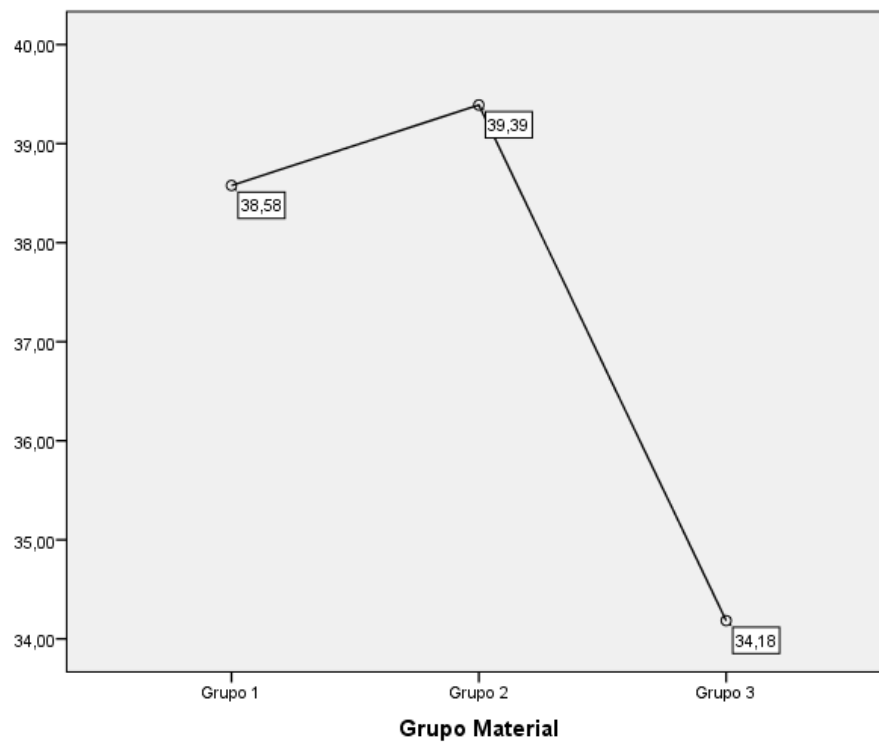
Fig. 6: Estabilidad cromática. Variable L^* . Medias por tipo de MATERIAL en T180**Fig. 7:** Estabilidad cromática. Variable C^* . Medias por tipo de MATERIAL en T180

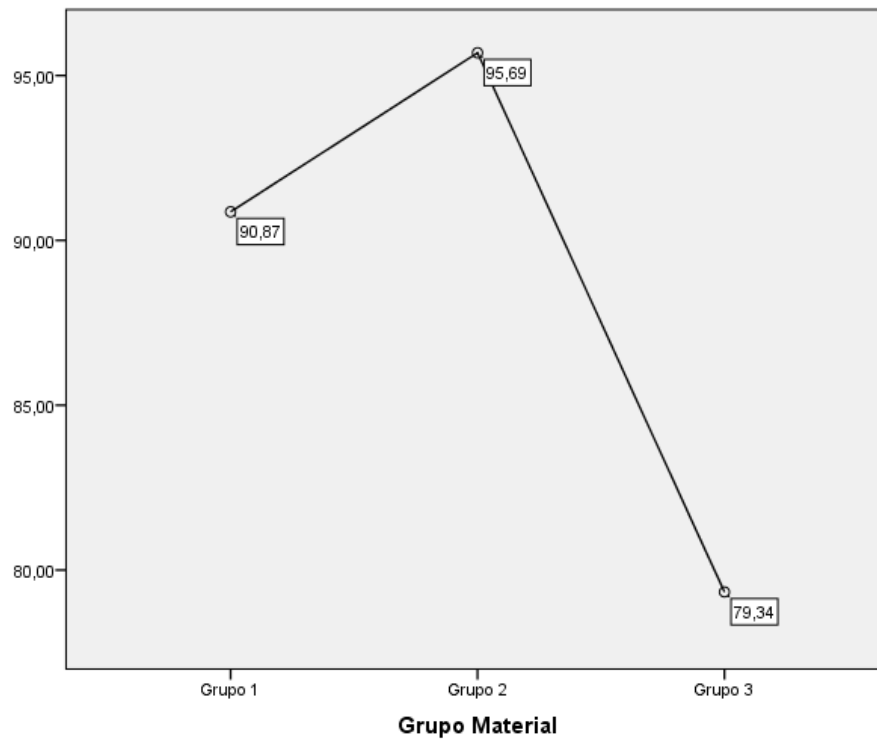
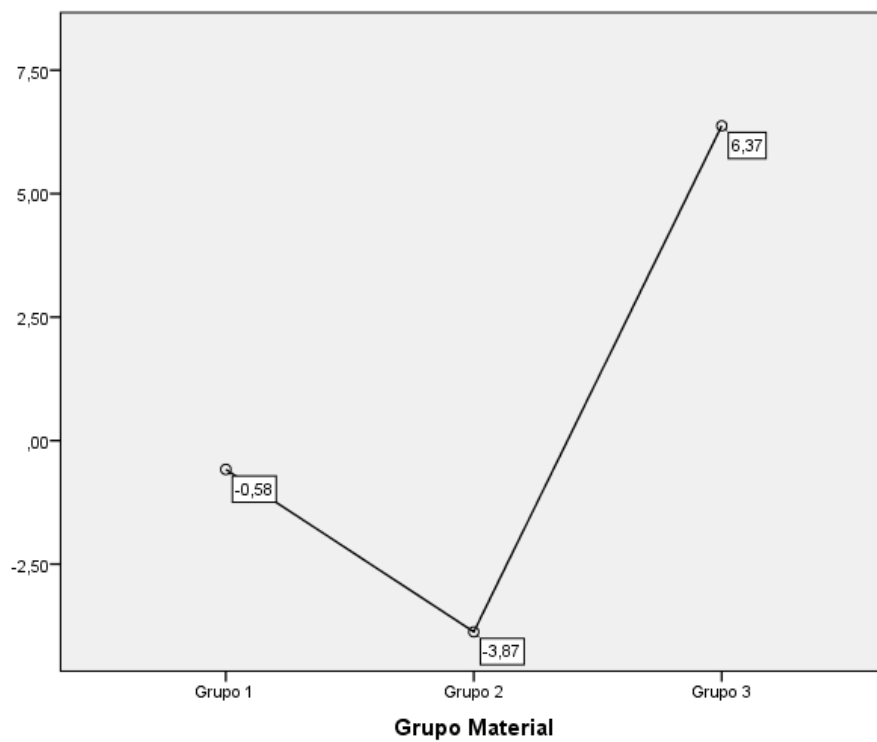
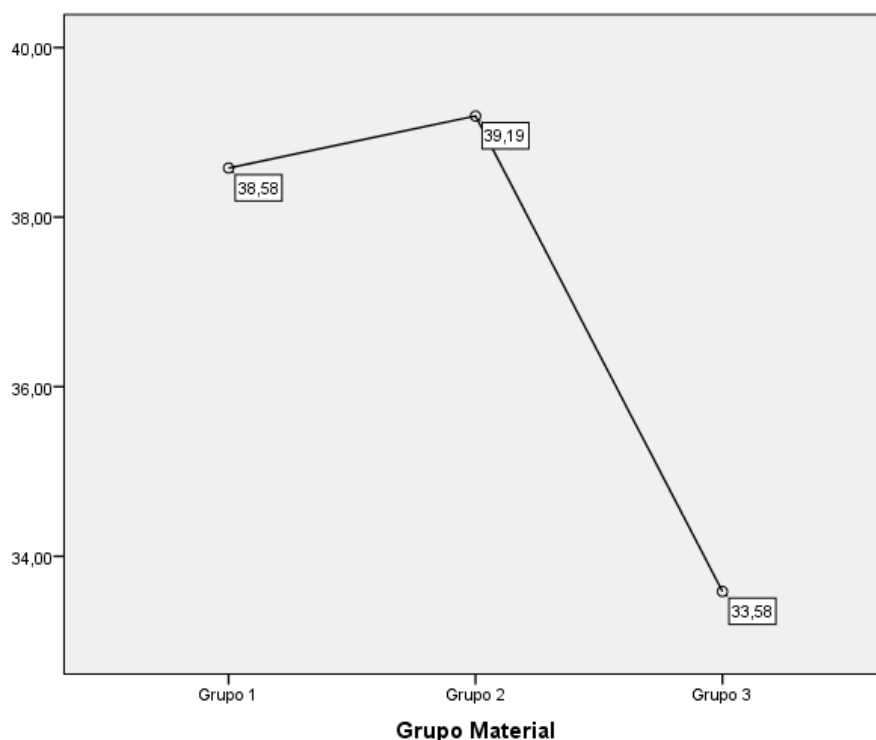
Fig. 8: Estabilidad cromática. Variable h^* . Medias por tipo de MATERIAL en T180**Fig. 9:** Estabilidad cromática. Variable a . Medias por tipo de MATERIAL en T180

Fig. 10: Estabilidad cromática. Variable b^* . Medias por tipo de MATERIAL en T180



4.- Diferencia entre materiales y grosor en origen (T_0).

Al análisis realizado en el momento T_0 que determinó la existencia de diferencias significativas, se añadió como segundo factor de posible efecto el grosor de las pastillas. Para ello se empleó la prueba estadística ANOVA de 2 factores que además del análisis del efecto de cada factor (material y grosor) por separado estudia si la combinación de ambos (la interacción) generó o no cambios significativos en las variables y qué fue lo más interesante de este análisis. La tabla 4 resume los resultados de estos ANOVAS de 2 factores. El efecto del material ya se conoce por el primer análisis (el material sí tuvo efecto significativo (ver tabla 2)).

- Variable L^* : al efecto del tipo de material se añade de forma significativa el efecto del grosor ($p < ,001$; alta potencia y efecto alto). La media de las pastillas de 1,5 mm de cualquier material fue mayor que la media de las pastillas de 2 mm. Centrando el interés en la interacción, ésta resultó también significativa con $p < ,01$ y alta potencia pero con un tamaño del efecto leve; es decir que hubo diferencias pero

de poca magnitud. La fig. 11 nos permite comprobar que donde hubo más diferencia fue en el material del Grupo 1 y fue menor en el del Grupo 3.

- Variable C^* : como en la anterior, se añade un efecto altamente significativo del grosor ($p < ,001$; y elevada potencia). Pero el tamaño de ese efecto fue leve por lo que la diferencia fue pequeña siendo la media de las pastillas de grosor 1,5 mm siempre mayor que la media de las de 2 mm, independientemente del material. La combinación de factores no ejerció un efecto significativo con $p > ,05$ aunque por escaso margen. En la fig. 12 da la impresión de que la diferencia en el grosor fue mayor en el Grupo 1 que en los otros dos, pero no hubo una significación que lo pruebe.
- Variable h° : en ella también se encontró que el grosor añadió significación (con $p < ,001$ y potencia media) pero con un tamaño del efecto muy leve que se debe a lo reducido de la diferencia entre la media de 1,5 mm que fue menor que la media de 2 mm. La interacción en este caso resultó significativa con $p < ,01$ (potencia media) y el tamaño del efecto leve. Según se observa en la fig. 13 la diferencia se dio exclusivamente en el material del Grupo 1.
- Variable a^* : aunque fuese por escaso margen, no se pudo afirmar que el grosor varió significativamente ($p > ,05$) los valores de esta variable. Así mismo, la interacción tampoco influyó de forma significativa ($p > ,05$) por lo que el único factor que terció en la variable a^* fue el tipo de material, como ya se sabía. (Ver fig. 14).
- Variable b^* : el factor grosor añadió significación a las diferencias observadas (con $p < ,001$, alta potencia y efecto muy elevado) tal que, como en casos anteriores, la media de las pastillas de 1,5 mm, independientemente del material, fue ligeramente mayor que la media de las pastillas de 2 mm. En cambio, la interacción material-grosor no alcanzó significación ($p > ,05$) por lo que el efecto anterior fue el mismo en los tres tipos de materiales, aunque en la fig. 15 pueda parecer que no es así.

Tabla 4: ANOVA de 2 factores. Significación de los efectos del MATERIAL y el GROSOR sobre la Estabilidad cromática, en T0

Variable / FACTOR	Grupos / N	Medias	F	gl	p	Eta ² parcial	Potencia
L* Grupo Material	3 / 30	G1: 74,79 ; G2: 78,00 ; G3: 81,73	616,27	2 ; 84	,000**	,936	>,999
Grosor	2 / 45	1,5mm: 78,82 ; 2mm: 77,53	63,32	1 ; 84	,000**	,430	>,999
Interacción Grosor / Material	6 / 15	(Ver fig. 11)	6,84	2 ; 84	,002**	,140	,912
C* Grupo Material	3 / 30	G1: 36,20 ; G2: 39,96 ; G3: 32,03	139,77	2 ; 84	,000**	,769	>,999
Grosor	2 / 45	1,5mm: 36,95 ; 2mm: 35,18	20,86	1 ; 84	,000**	,199	,995
Interacción Grosor / Material	6 / 15	(Ver fig. 12)	2,82	2 ; 84	,066 ^{NS}	-	-
h° Grupo Material	3 / 30	G1: 92,79 ; G2: 93,77 ; G3: 80,43	2075,44	2 ; 84	,000**	,980	>,999
Grosor	2 / 45	1,5mm: 88,74 ; 2mm: 89,25	7,32	1 ; 84	,008**	,080	,763
Interacción Grosor / Material	6 / 15	(Ver fig. 13)	4,93	2 ; 84	,009**	,105	,794
a* Grupo Material	3 / 30	G1: -1,74 ; G2: -2,61 ; G3: 5,38	1004,10	2 ; 84	,000**	,960	>,999
Grosor	2 / 45	1,5mm: 0,50 ; 2mm: 0,19	3,77	1 ; 84	,056 ^{NS}	-	-
Interacción Grosor / Material	6 / 15	(Ver fig. 14)	1,12	2 ; 84	,329 ^{NS}	-	-
b* Grupo Material	3 / 30	G1: 36,15 ; G2: 39,90 ; G3: 31,56	166,56	2 ; 84	,000**	,799	>,999
Grosor	2 / 45	1,5mm: 36,78 ; 2mm: 34,97	23,60	1 ; 84	,000**	,219	,998
Interacción Grosor / Material	6 / 15	(Ver fig. 15)	2,92	2 ; 84	,059 ^{NS}	-	-

NS = no significativo (p>,050) * Significativo al 5% ** Altamente Significativo a 1%

Fig. 11: Estabilidad cromática. Variable L^* . Medias por tipo de MATERIAL y GROSOR en

T0

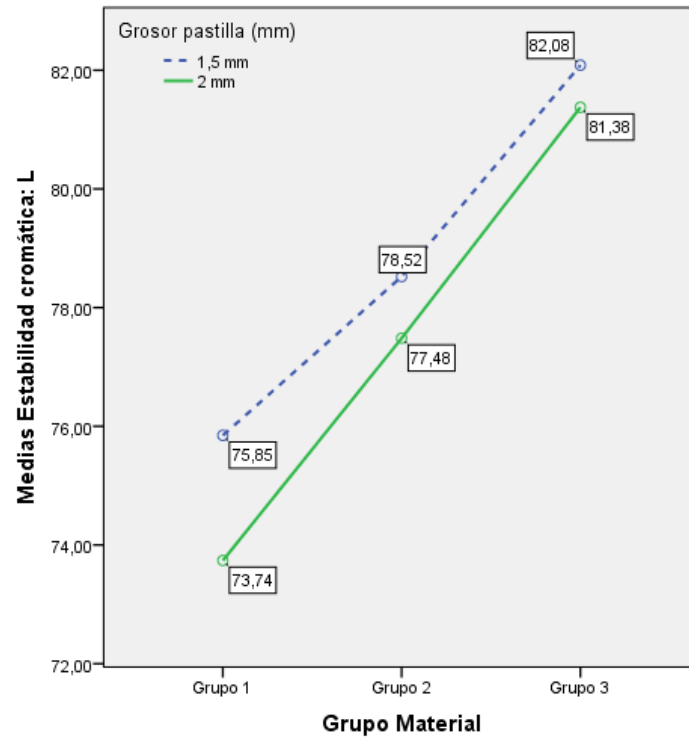


Fig. 12: Estabilidad cromática. Variable C^* . Medias por tipo de MATERIAL y GROSOR en

T0

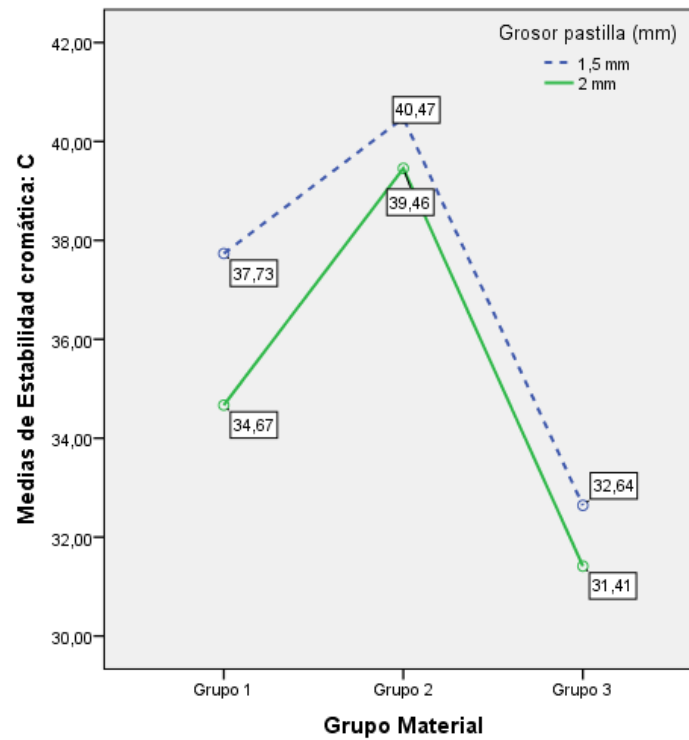


Fig. 13: Estabilidad cromática. Variable h° . Medias por tipo de MATERIAL y GROSOR en T0

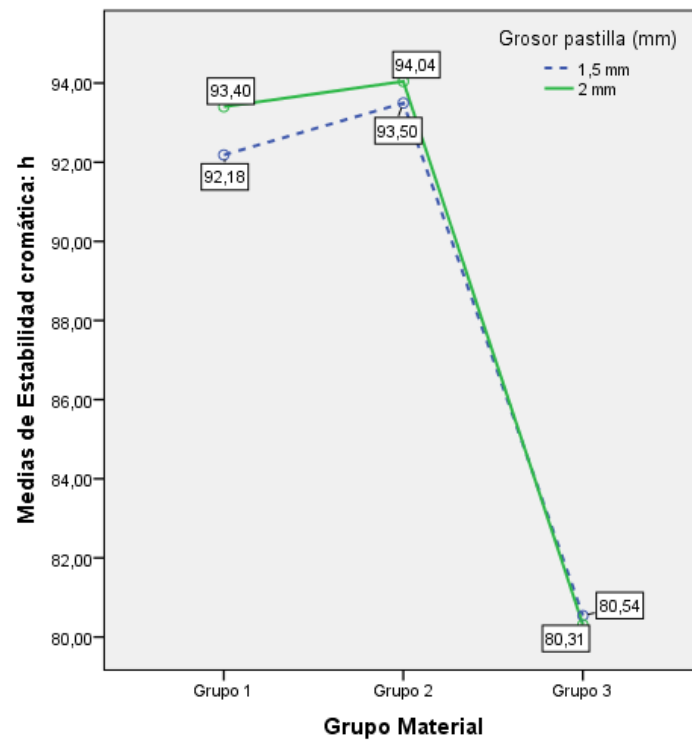


Fig. 14: Estabilidad cromática. Variable a^* . Medias por tipo de MATERIAL y GROSOR en T0

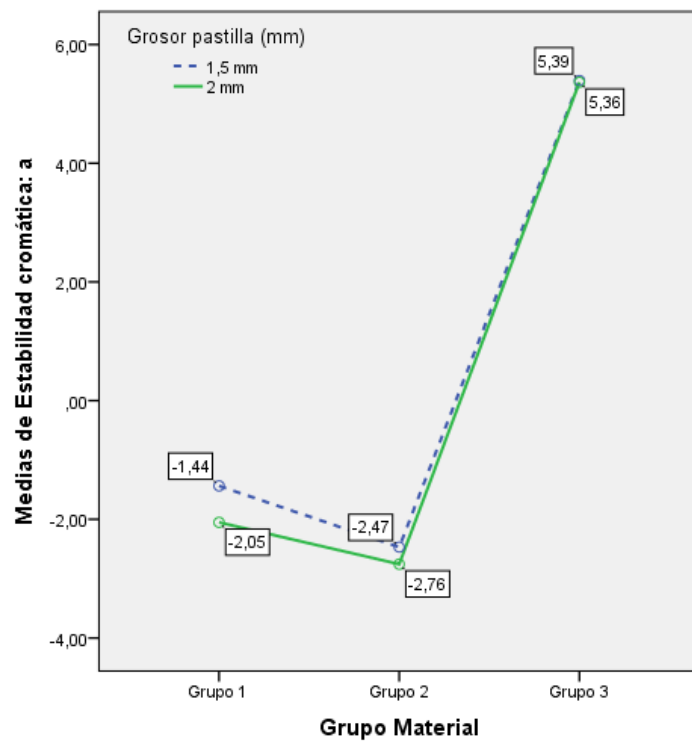
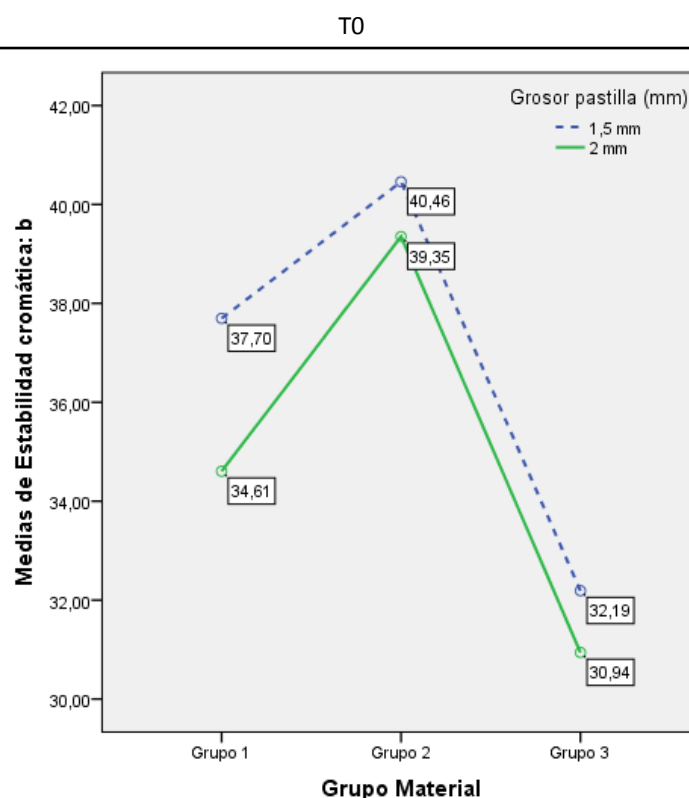


Fig. 15: Estabilidad cromática. Variable b^* . Medias por tipo de MATERIAL y GROSOR en



5.- Diferencia entre materiales y grosor después del termociclado (T180).

Como en el apartado anterior, al análisis realizado en el momento T180 se añadió, como segundo factor de posible efecto, el grosor de las pastillas. Se utilizó el mismo procedimiento estadístico (ver tabla 5).

- Variable L^* : se añadieron diferencias significativas debidas al grosor ($p < ,001$; muy alta potencia) con tamaño del efecto alto según el cual la media de las pastillas de 1,5 mm fue mayor que la media de las pastillas de 2 mm. En cuanto a la interacción, ésta fue no significativa con $p > ,05$ por lo que la diferencia anteriormente comentada se produjo de la misma manera en todos los tipos de materiales (ver fig. 16).
- Variable C^* : también se añadió un efecto significativo del grosor ($p < ,05$; pero potencia baja) aunque con un tamaño de ese efecto muy leve por lo que la diferencia fue muy pequeña siendo la media de las pastillas de 1,5 mm mayor que la media de las de 2mm. La combinación de este factor con el material no tuvo un efecto significativo (con $p > ,05$) por lo que esta diferencia fue la misma en los tres grupos de materiales (ver fig. 17).

- Variable h° : en este caso el grosor no añadió efecto significativo ($p > ,05$) a las diferencias observadas entre los materiales. Tampoco fue significativa la interacción, con $p > ,05$ (ver fig. 18).
- Variable a^* : el resultado en este caso fue similar al de la variable anterior. Ni el grosor ni la interacción con el tipo de material fue significativa, con $p > ,05$ (ver fig. 19).
- Variable b^* : en este caso el grosor sí que añadió significación a las diferencias observadas (con $p < ,001$, potencia elevada y con un tamaño del efecto elevado) de manera que la media de las pastillas de 1,5 mm fue mayor que la media de las pastillas de 2 mm. En cambio, la interacción no alcanzó significación ($p > ,05$) por lo que el efecto anterior fue el mismo en los tres tipos de materiales (ver fig. 20).

Tabla 5: ANOVA de 2 factores. Significación de los efectos del MATERIAL y el GROSOR sobre la Estabilidad cromática, en T180

Variable / FACTOR	Grupos / N	Medias	F	g.l	p	Eta ² parcial	Potencia	
L*	Grupo Material	3 / 30	G1: 75,00 ; G2: 79,72 ; G3: 81,68	476,06	2 ; 84	,000**	,919	>,999
	Grosor	2 / 45	1,5mm: 79,34 ; 2mm: 78,26	35,57	1 ; 84	,000**	,297	>,999
	Interacción Grosor / Material	6 / 15	(Ver fig. 16)	0,74	2 ; 84	,480 ^{NS}	-	-
C*	Grupo Material	3 / 30	G1: 38,58 ; G2: 39,39 ; G3: 34,18	63,77	2 ; 84	,000**	,603	>,999
	Grosor	2 / 45	1,5mm: 37,82 ; 2mm: 36,95	4,67	1 ; 84	,034 *	,053	,570
	Interacción Grosor / Material	6 / 15	(Ver fig. 17)	0,10	2 ; 84	,905 ^{NS}	-	-
h°	Grupo Material	3 / 30	G1: 90,87 ; G2: 95,69 ; G3: 79,34	2238,93	2 ; 84	,000**	,982	>,999
	Grosor	2 / 45	1,5mm: 88,54 ; 2mm: 88,72	0,79	1 ; 84	,378 ^{NS}	-	-
	Interacción Grosor / Material	6 / 15	(Ver fig. 18)	2,03	2 ; 84	,138 ^{NS}	-	-
a*	Grupo Material	3 / 30	G1: -0,58 ; G2: -3,87 ; G3: 6,37	1210,71	2 ; 84	,000**	,966	>,999
	Grosor	2 / 45	1,5mm: 0,69 ; 2mm: 0,59	0,36	1 ; 84	,550 ^{NS}	-	-
	Interacción Grosor / Material	6 / 15	(Ver fig. 19)	0,59	2 ; 84	,559 ^{NS}	-	-
b*	Grupo Material	3 / 30	G1: 38,58 ; G2: 39,19 ; G3: 33,58	83,55	2 ; 84	,000**	,665	>,999
	Grosor	2 / 45	1,5mm: 37,57 ; 2mm: 36,67	5,34	1 ; 84	,023 *	,060	,627
	Interacción Grosor / Material	6 / 15	(Ver fig. 20)	0,12	2 ; 84	,884 ^{NS}	-	-

NS = no significativo ($p > ,050$) * Significativo al 5% ** Altamente Significativo a 1%

Fig. 16: Estabilidad cromática. Variable L^* . Medias por tipo de MATERIAL y GROSOR en T180

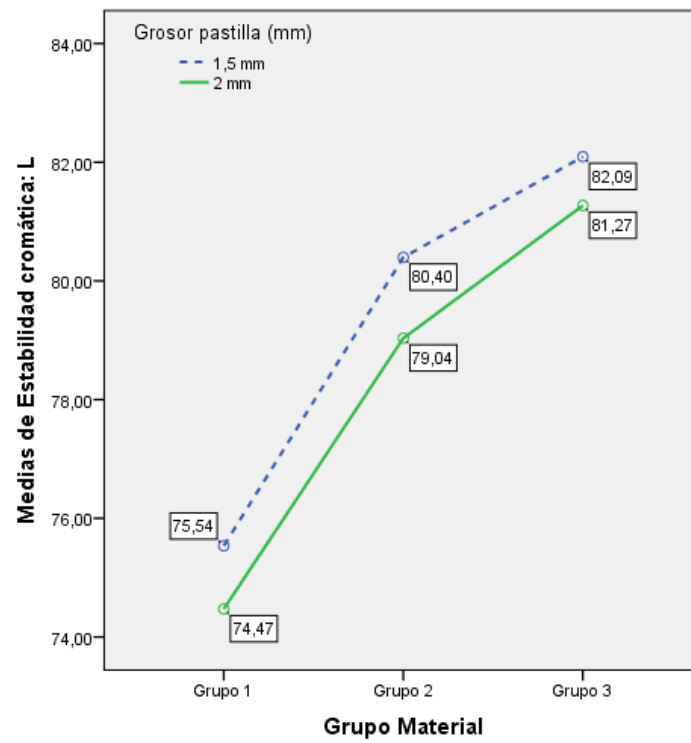


Fig. 17: Estabilidad cromática. Variable C^* . Medias por tipo de MATERIAL y GROSOR en T180

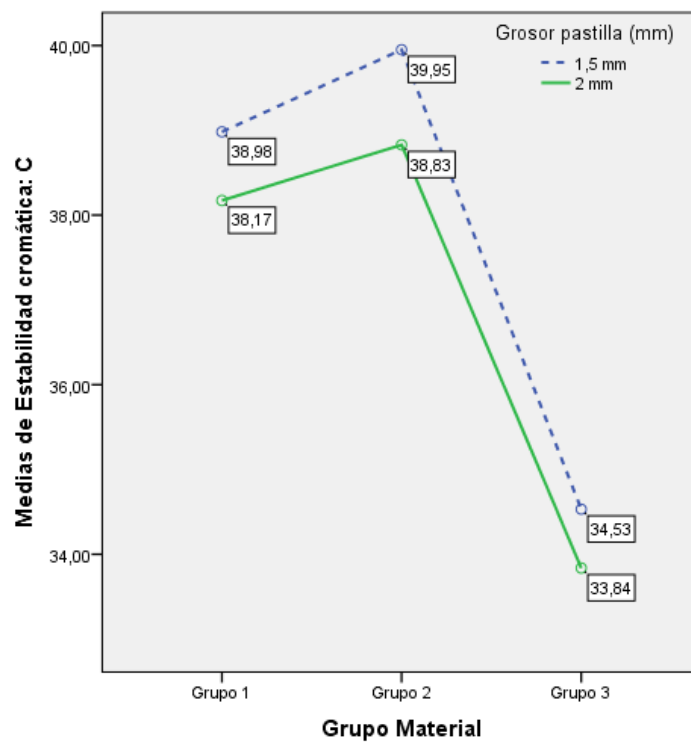


Fig. 18: Estabilidad cromática. Variable h° . Medias por tipo de MATERIAL y GROSOR en T180

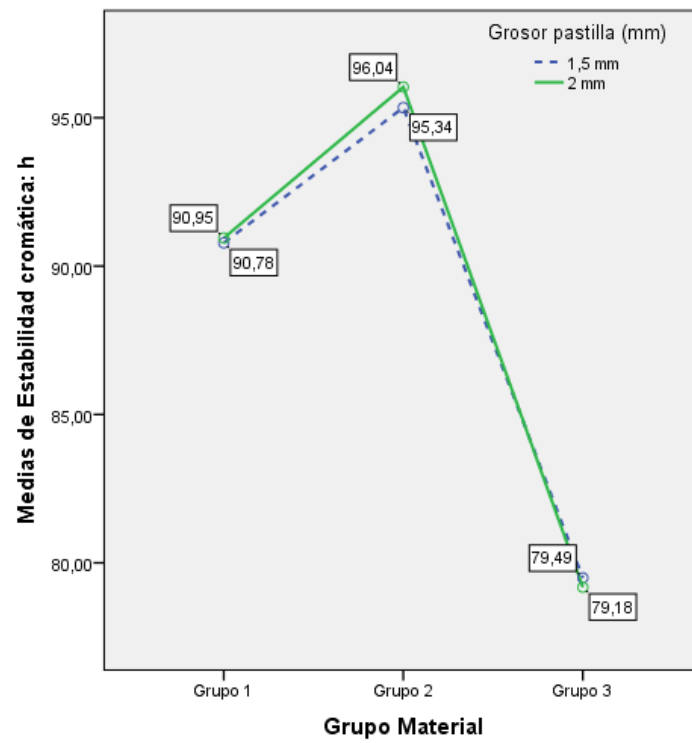


Fig. 19: Estabilidad cromática. Variable a^* . Medias por tipo de MATERIAL y GROSOR en T180

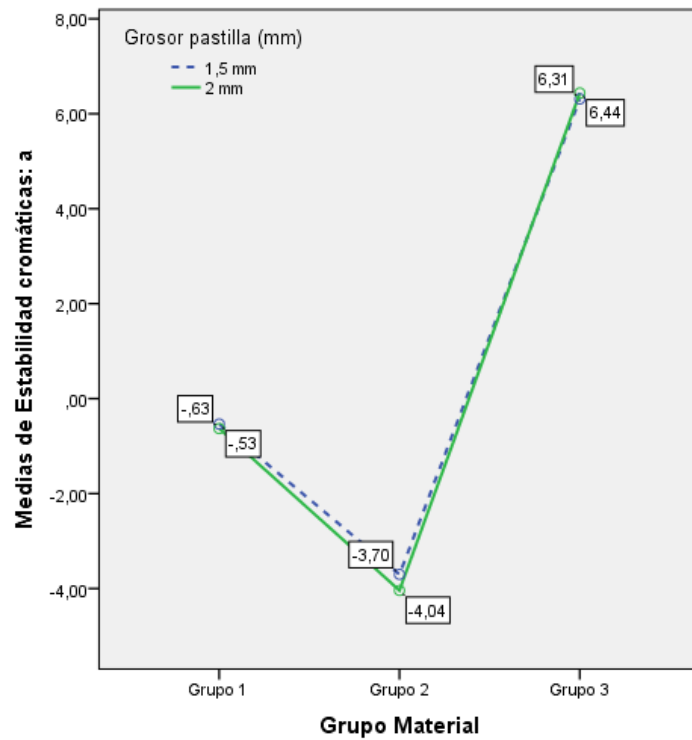
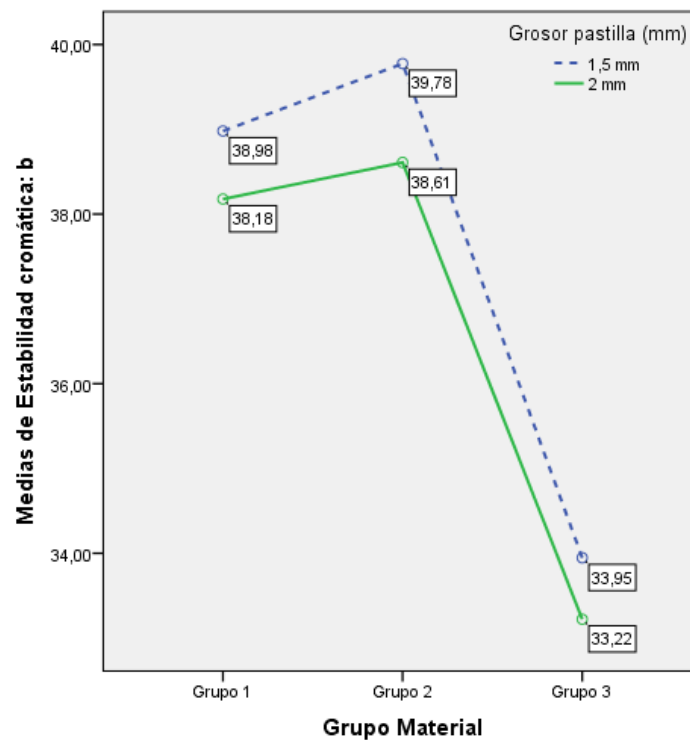


Fig. 20: Estabilidad cromática. Variable b^* . Medias por tipo de MATERIAL y GROSOR en T180



6.- Efecto del paso del tiempo ($T180-T0$) en la diferencia entre materiales y grosores.

Con objeto de estudiar el efecto del paso del tiempo (termociclado) en las diferencias anteriormente analizadas, se incorporó esta variable como un factor de tipo intragrupo, es decir de medidas repetidas.

En primer lugar, se hizo el análisis estadístico de cada material por separado con el test T de Student de medidas repetidas (muestras relacionadas) sobre el mismo objeto estadístico (las pastillas) acompañado de la alternativa no-paramétrica T de Wilcoxon para confirmar que la falta de ajuste al modelo normal de algunas de las variables no tuvo trascendencia sobre los resultados. En las tablas que siguen se pudo comprobar cómo los resultados de todas estas alternativas paramétricas fueron muy similares, demostrando la falta de distorsión en el análisis de la ausencia de normalidad.

A) Material Grupo 1.

La tabla 6 contiene los resultados de estos test. En la variable L^* no existieron diferencias estadísticamente significativas ($p > ,05$) debidas al paso del tiempo. Por tanto se mantuvieron los valores iniciales. No obstante la alternativa no paramétrica sugirió que podría ser considerado como casi significativo, con $p < ,10$.

En cambio en las otras variables sí que hubo cambios altamente significativos, con $p < ,001$ y un tamaño del efecto alto o muy alto:

- Variable C^* : hubo un aumento en la media de 2,38 puntos desde 36,20 hasta 38,58.
- Variable h° : por el contrario hubo una reducción de 1,93 puntos desde 92,79 hasta 90,87.
- Variable a^* : se observó un aumento aritmético de 1,16 puntos desde -1,74 hasta -0,58.
- Variable b^* : se observó un aumento de 2,43 puntos desde 36,15 hasta 38,58.

Los IC al 95 % de estos cambios se encuentran en la tabla 6.

Tabla 6: Test de diferencias entre medias. Estabilidad cromática. Medidas repetidas en T0 y T180, en material Grupo 1.

Variables / Tiempo	N	Media (IC 95%)	D.T.	Diferencia absoluta entre las medias IC al 95%	Prueba T de Student		Test N-P Wilcoxon		Tamaño efecto
					Valor T	gl	P (bilat)	n p (bilat)	
L Inicio (T0) En T180	30	74,79 (74,32 ; 75,26) 75,00 (74,77 ; 75,24)	1,26 0,63	0,21 (N.S.)	1,21	29	,235 ^{NS}	,048 ^{NS}	-
C Inicio (T0) En T180	30	36,20 (35,53 ; 38,58) 38,58 (38,30 ; 38,86)	1,80 0,75	2,38 (1,74 – 3,02)	7,61	29	,000**	,000**	0,666
h Inicio (T0) En T180	30	92,79 (92,53 ; 93,06) 90,87 (90,78 ; 90,95)	0,71 0,22	1,93 (1,68 – 2,17)	16,09	29	,000**	,000**	0,899
a Inicio (T0) En T180	30	-1,74 (-1,88 ; -1,61) -0,58 (-0,64 ; -0,53)	0,36 0,14	1,16 (1,03 – 1,29)	18,63	29	,000**	,000**	0,923
b Inicio (T0) En T180	30	36,15 (35,47 ; 36,83) 38,58 (38,30 ; 38,86)	1,82 0,75	2,43 (1,79 – 3,07)	7,73	29	,000**	,000**	0,673

NS = no significativo ($p > ,050$) * Significativo al 5% ** Altamente Significativo al 1%

B) Material Grupo 2.

Los resultados de los test de este grupo se presentan en la tabla 7. Como se puede comprobar en todas las variables se encontraron diferencias que fueron significativas con $p < ,001$ si bien en una de ellas solo lo fue con $p < ,05$. Los tamaños del efecto fueron, en general, elevados, salvo donde se apreciaron diferencias pequeñas.

- Variable *L**: hubo un aumento en la media de 1,72 puntos desde 78,00 hasta 79,72.
- Variable *C**: hubo una pequeña disminución de 0,60 puntos desde 39,96 hasta 39,39.
- Variable *h°*: se observó un aumento de 1,92 puntos desde 93,77 hasta 95,69.
- Variable *a**: se apreció una disminución aritmética de 1,26 puntos desde -2,61 hasta -3,87.
- Variable *b**: existe una pequeña reducción de 0,71 unidades desde 39,90 hasta 39,19.

Tabla 7: Test de diferencias entre medias. Estabilidad cromática. Medidas repetidas en T0 y T180, en material Grupo 2.

Variables / Tiempo	N	Media (IC 95%)	D.T.	Diferencia absoluta entre las medias IC al 95%	Prueba T de Student		Test N-P Wilcoxon		Tamaño efecto
					Valor T	gl	P (bilat)	n p (bilat)	
L Inicio (T0) En T180	30	78,00 (77,70 ; 78,31) 79,72 (79,33 ; 80,10)	0,81 1,04	1,72 (1,35 – 2,07)	9,76	29	,000**	,000**	0,767
C Inicio (T0) En T180	30	39,96 (39,37 ; 40,56) 39,39 (38,67 ; 40,11)	1,59 1,94	0,60 (0,17 – 1,04)	2,69	29	,012 *	,015 *	0,200
h Inicio (T0) En T180	30	93,77 (93,49 ; 94,05) 95,69 (95,26 ; 96,11)	0,75 1,14	1,92 (1,68 – 2,15)	16,76	29	,000**	,000**	0,906
a Inicio (T0) En T180	30	-2,61 (-2,77 ; -2,45) -3,87 (-4,11 ; -3,64)	0,43 0,64	1,26 (1,12 – 1,39)	18,91	29	,000**	,000**	0,925
b Inicio (T0) En T180	30	39,90 (39,29 ; 40,52) 39,19 (38,45 ; 39,94)	1,66 1,99	0,71 (0,28 – 1,15)	3,36	29	,002**	,004**	0,280

NS = no significativo ($p > ,050$) * Significativo al 5% ** Altamente Significativo al 1%

C) Material Grupo 3.

La tabla 8 contiene los resultados de este tercer grupo de material. Solamente en la variable L^* se puede decir que no hubo cambios significativos con $p > ,05$ en función del paso del tiempo. En el resto de las variables sí que los hubo y son altamente significativos con $p < ,001$ y con tamaño del efecto muy altos.

- Variable C^* : hubo un aumento de 2,16 unidades desde 32,03 hasta 34,18.
- Variable h^* : se encontró una disminución de 1,09 puntos desde 80,43 hasta 79,34.
- Variable a^* : hubo un incremento aritmético de 0,99 puntos desde 5,38 hasta 6,37.
- Variable b^* : existe un aumento de 0,71 puntos desde 31,56 hasta 33,58.

Tabla 8: Test de diferencias entre medias. Estabilidad cromática. Medidas repetidas en T0 y T180, en material Grupo 3.

Variables / Tiempo	N	Media (IC 95%)	D.T.	Diferencia absoluta entre las medias IC al 95%	Prueba T de Student		Test N-P	Tamaño efecto	
					Valor T	gl	p (bilat)		Wilcoxon n p (bilat)
L Inicio (T0) En T180	30	81,73 (81,35 ; 82,11) 81,68 (81,21 ; 82,16)	1,00 1,27	0,05 (N.S.)	0,21	29	,835 ^{NS}	,931 ^{NS}	-
C Inicio (T0) En T180	30	32,03 (31,03 ; 33,03) 34,18 (33,20 ; 35,17)	2,66 2,64	2,16 (1,80 – 2,51)	12,50	29	,000**	,000**	0,843
h Inicio (T0) En T180	30	80,43 (79,94 ; 78,87) 79,34 (78,87 ; 79,80)	1,31 1,25	1,09 (1,00 – 1,18)	24,77	29	,000**	,000**	0,955
a Inicio (T0) En T180	30	5,38 (4,93 ; 5,83) 6,37 (5,91 ; 6,84)	1,21 1,25	0,99 (0,91 – 1,08)	24,80	29	,000**	,000**	0,955
b Inicio (T0) En T180	30	31,56 (30,63 ; 32,50) 33,58 (32,67 ; 34,50)	2,50 2,44	2,02 (1,67 – 2,37)	11,89	29	,000**	,000**	0,830

NS = no significativo ($p > ,050$) * Significativo al 5% ** Altamente Significativo al 1%

A continuación, el estudio de estas diferencias debidas al efecto del tiempo, se contempló desde la perspectiva multivariante, incorporando el tipo de material y el grosor como factores de tipo intergrupo. Para ello se empleó un ANOVA de tipo mixto, con 3 factores, uno intragrupo (tiempo) de medidas repetidas y los citados factores intergrupo. El mayor interés de esta técnica está en la observación de la interacción del tiempo con el tipo de material que determina si los tres tipos evolucionaron igual.

Los resultados obtenidos en estas técnicas estadísticas se resumen en la tabla 9. Puesto que los efectos de los factores individualmente analizados ya fueron comentados, se explican solamente las interacciones que están también representadas en las figuras que siguen.

- Variable L^* : mientras que en los materiales de los grupos 1 y 3 no hubo cambios en el tiempo, sí que los hubo en el Grupo 2, por ello la interacción tiempo/material fue altamente significativa aunque el tamaño del efecto fue solamente moderado. Sin embargo la interacción tiempo/grosor no fue significativa por lo que esta variación que se acaba de comentar fue similar en las pastillas de ambos grosores (ver fig. 21 y 22), en T180 los valores de L^* aumentaron solamente en el Grupo 2.
- Variable C^* : la interacción del material con el tiempo fue altamente significativa ($p < ,001$) por lo que los cambios observados en el tiempo no fueron iguales en los 3 tipos de materiales, así se puede ver (ver fig. 23 y 24) que mientras en los grupos 2 y 3 la variable aumentó, en el Grupo 1 disminuyó, reduciéndose su diferencia con respecto a los otros dos. Así mismo, la interacción del tiempo/grosor también fue altamente significativa ($p < ,001$) aunque su tamaño del efecto fue leve, esto quiere decir que las variaciones en el tiempo fueron distintas según el grosor de las pastillas. Se observó (mismas figuras) que el incremento en T180 del valor de C^* del material del Grupo 1 fue mayor en el caso de los 2 mm de grosor que el que había en 1,5 mm.
- Variable h° : la interacción tiempo/material fue altamente significativa y por lo tanto las diferencias observadas en el tiempo variaron en función del tipo de material empleado. Como se observa en las figs. 25 y 26, mientras que en los grupos 1 y 3 la variable disminuyó en el Grupo 2, por el contrario, aumentó, ampliándose la diferencia entre ellas. Así mismo también fue significativa la interacción del tiempo

con el grosor, por lo que este cambio tampoco fue el mismo en ambos grosores si bien el tamaño del efecto fue leve. Aunque en las figuras es difícil de ver (por el leve tamaño del efecto), la disminución de h° en T180 para el Grupo 1 fue mayor en las muestras de 2 mm que en las de 1,5 mm.

- Variable a^* : en primer lugar es necesario recordar que en el análisis de esta variable no se incluyó el factor grosor puesto que ya se demostró anteriormente que ni él ni su interacción ejercieron efecto significativo dentro del modelo. Por tanto, solo se analizó la interacción tiempo/material que fue altamente significativa por lo que los cambios ya demostrados en el tiempo no fueron iguales en los tres tipos de materiales. Como se puede ver en la fig. 27, mientras que en el Grupo 2 la variable disminuyó, en los grupos 1 y 3 aumentó.
- Variable b^* : la interacción tiempo/material fue altamente significativa de modo que los cambios en el tiempo no fueron semejantes en los tres grupos de materiales. Así mismo la interacción con el grosor también lo fue, por lo que también dependió del mismo. Como se aprecia en las figs. 28 y 29 esto implica que mientras que en el Grupo 2 la variable disminuyó y lo hizo de forma similar en ambos grosores, en los grupos 1 y 3 aumentó, pero ese aumento fue claramente mayor en el caso de las pastillas de 2 mm de grosor del Grupo 2.

Tabla 9: ANOVA mixto de 3 factores: 1 de medidas repetidas + 2 intergrupo.
Significación de los efectos del TIEMPO, del MATERIAL y del GROSOR sobre la Estabilidad cromática.

Variable / FACTOR	Grupos / N	Medias	F	gl	p	Eta ² parcial	Potencia	
L*	Grupo Material	3 / 30	G1: 74,90 ; G2: 78,86 ; G3: 81,71	878,01	2 ; 84	,000**	,954	>,999
	Grosor	2 / 45	1,5mm: 79,08 ; 2mm: 77,90	78,98	1 ; 84	,000**	,485	>,999
	Tiempo (MR)	2 / 90	T0: 78,18 ; T180: 78,80	33,24	1 ; 84	,000**	,284	>,999
	Interacción Tiempo / Material	6 / 15	(Ver fig. 21 y 22)	25,58	2 ; 84	,000**	,379	>,999
	Interacción Tiempo / Grosor	6 / 15		0,87	1 ; 84	,355 ^{NS}	-	-
C*	Grupo Material	3 / 30	G1: 37,39 ; G2: 39,68 ; G3: 33,11	104,02	2 ; 84	,000**	,712	>,999
	Grosor	2 / 45	1,5mm: 37,39 ; 2mm: 36,06	12,27	1 ; 84	,001**	,127	,934
	Tiempo (MR)	2 / 45	T0: 36,06 ; T180: 37,38	119,66	1 ; 84	,000**	,588	>,999
	Interacción Tiempo / Material	6 / 15	(Ver fig. 23 y 24)	61,90	2 ; 84	,000**	,596	>,999
	Interacción Tiempo / Grosor	6 / 15		13,80	1 ; 84	,000**	,141	,957
h°	Grupo Material	3 / 30	G1: 90,83 ; G2: 94,73 ; G3: 79,88	2260,28	2 ; 84	,000**	,982	>,999
	Grosor	2 / 45	1,5mm: 88,64 ; 2mm: 88,99	5,39	1 ; 84	,074 ^{NS}	-	-
	Tiempo (MR)	2 / 45	T0: 89,00 ; T180: 88,63	59,70	1 ; 84	,000**	,415	>,999
	Interacción Tiempo / Material	6 / 15	(Ver fig. 25 y 26)	604,56	2 ; 84	,000**	,935	>,999
	Interacción Tiempo / Grosor	6 / 15		11,96	1 ; 84	,001**	,125	,928
a*	Grupo Material	3 / 30	G1: -1,16 ; G2: -3,24 ; G3: 5,88	1131,26	2 ; 84	,000**	,963	>,999
	Tiempo (MR)	2 / 45	T0: 0,34 ; T180: 0,64	81,26	1 ; 84	,000**	,483	>,999
	Interacción Tiempo / Material	6 / 15	(Ver fig. 27)	552,24	1 ; 84	,000**	,927	>,999
b*	Grupo Material	3 / 30	G1: 37,37 ; G2: 39,55 ; G3: 32,57	129,59	1 ; 84	,000**	,998	>,999
	Grosor	2 / 45	1,5mm: 37,17 ; 2mm: 35,82	14,06	2 ; 84	,000**	,755	>,999
	Tiempo (MR)	2 / 45	T0: 35,87 ; T180: 37,12	107,67	1 ; 84	,000**	,562	>,999
	Interacción Tiempo / Material	6 / 15	(Ver fig. 28 y 29)	67,48	2 ; 84	,000**	,616	>,999
	Interacción Tiempo / Grosor	6 / 15		14,61	1 ; 84	,000**	,148	,966

NS = no significativo (p>,050) * Significativo al 5% ** Altamente Significativo a 1%

Fig. 21: Estabilidad cromática. Cambio en el TIEMPO de la variable L^* , para el GROSOR 1,5 mm, según tipo de MATERIAL.

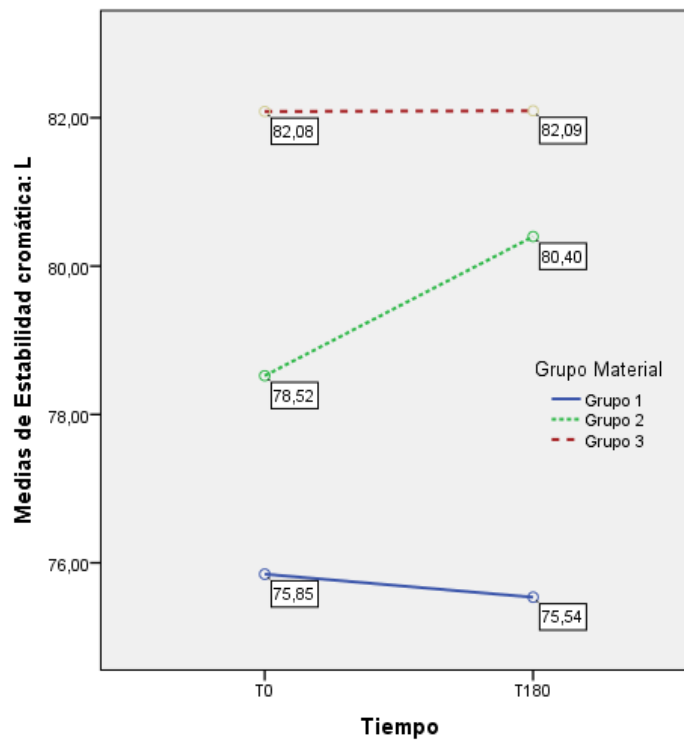


Fig. 22: Estabilidad cromática. Cambio en el TIEMPO de la variable L^* , para el GROSOR 2 mm, según tipo de MATERIAL.

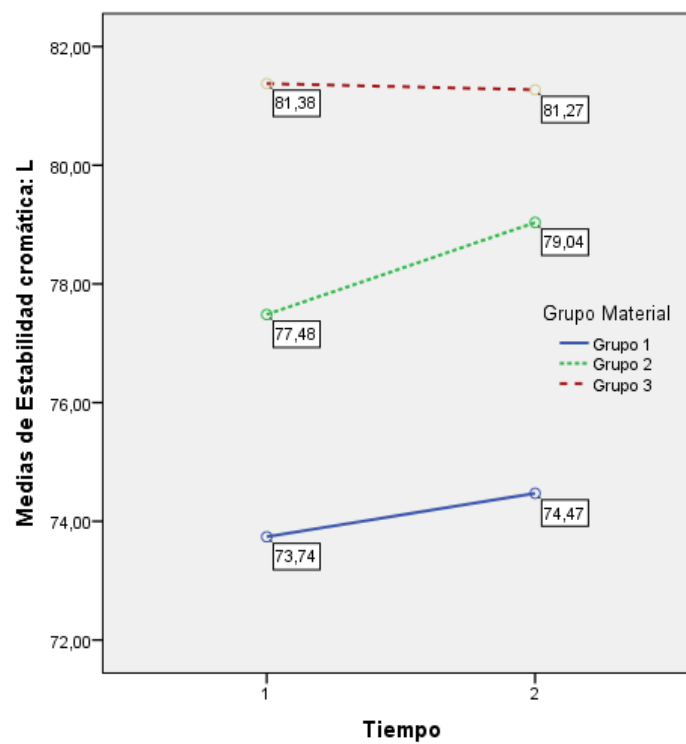


Fig. 23: Estabilidad cromática. Cambio en el TIEMPO de la variable C^* , para el GROSOR 1,5 mm, según tipo de MATERIAL.

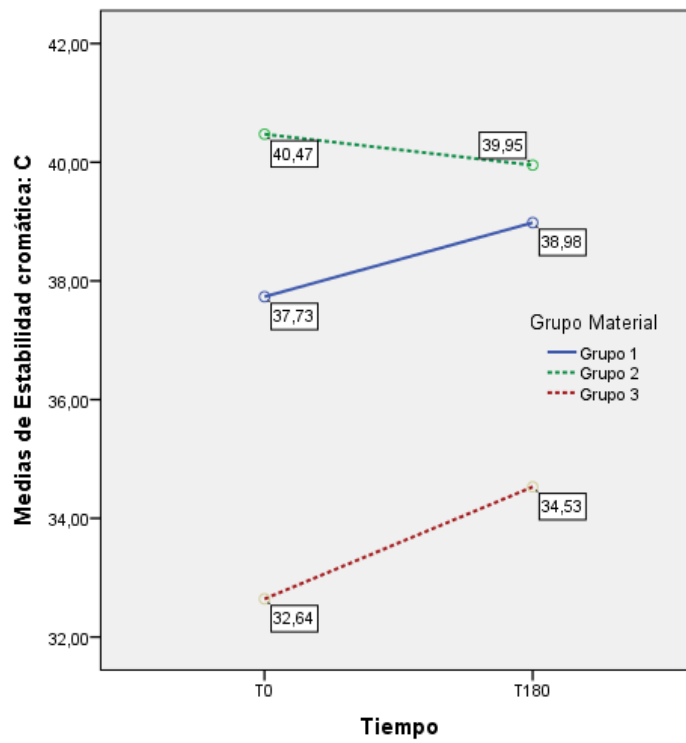


Fig. 24: Estabilidad cromática. Cambio en el TIEMPO de la variable C^* , para el GROSOR 2 mm, según tipo de MATERIAL.

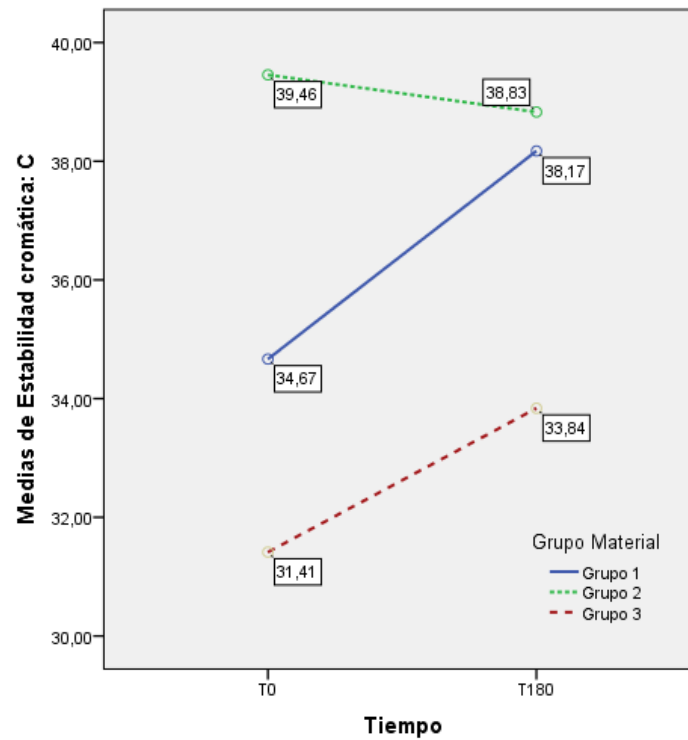


Fig. 25: Estabilidad cromática. Cambio en el TIEMPO de la variable h° , para el GROSOR 1,5 mm, según tipo de MATERIAL.

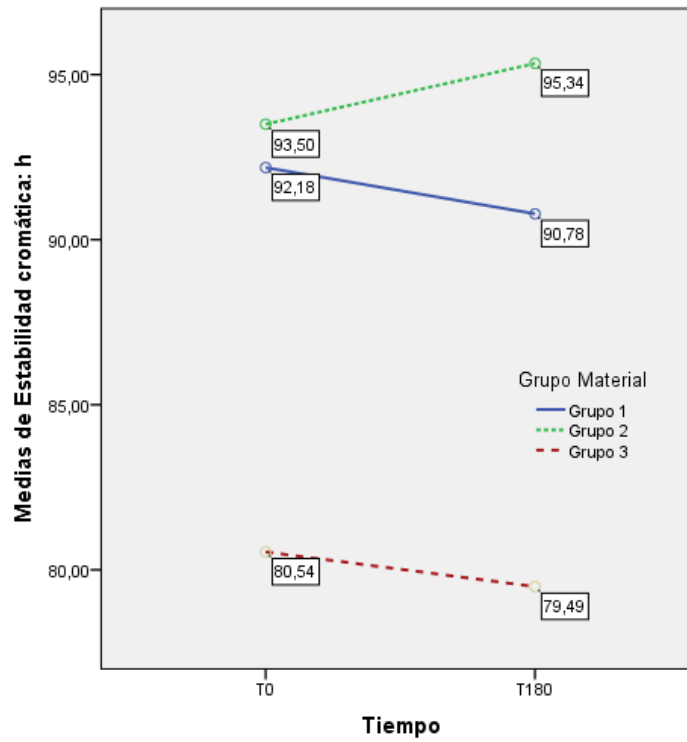


Fig. 26: Estabilidad cromática. Cambio en el TIEMPO de la variable h° para el GROSOR 2 mm, según tipo de MATERIAL.

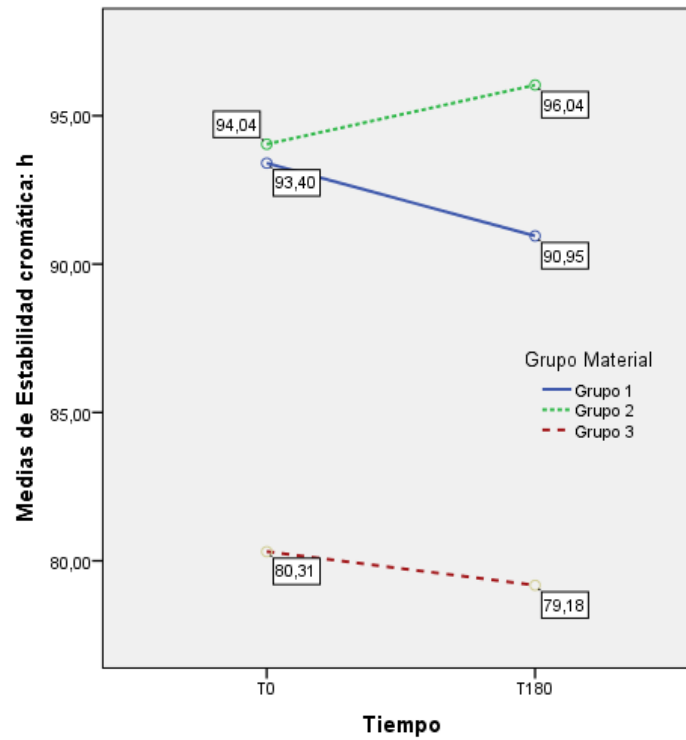


Fig. 27: Estabilidad cromática. Variable a^* . Medias por tipo de MATERIAL y TIEMPO.

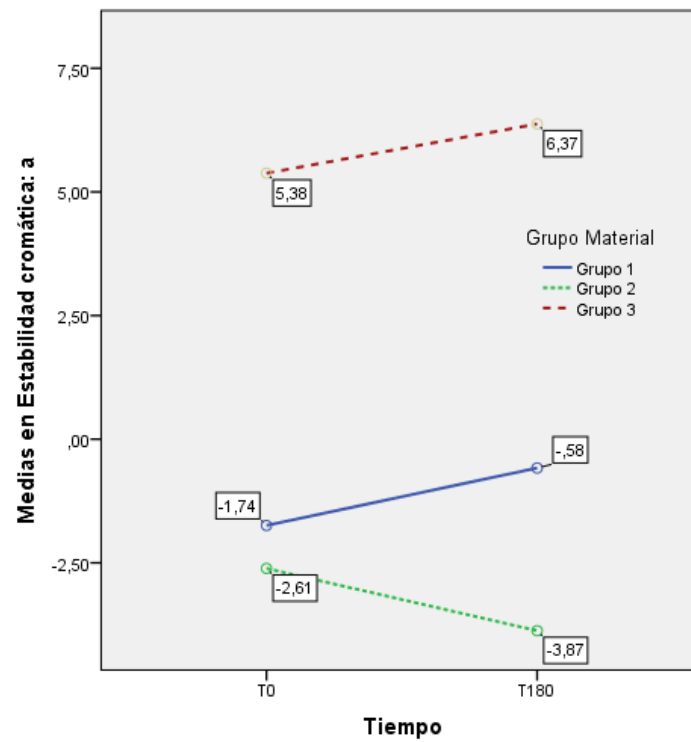


Fig. 28: Estabilidad cromática. Cambio en el TIEMPO de la variable b^* , para el GROSOR 1,5 mm, según tipo de MATERIAL.

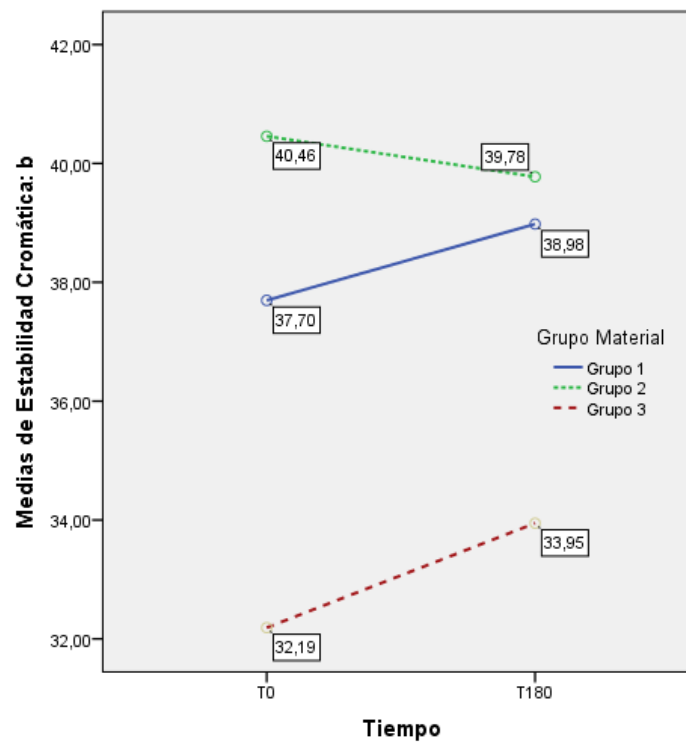
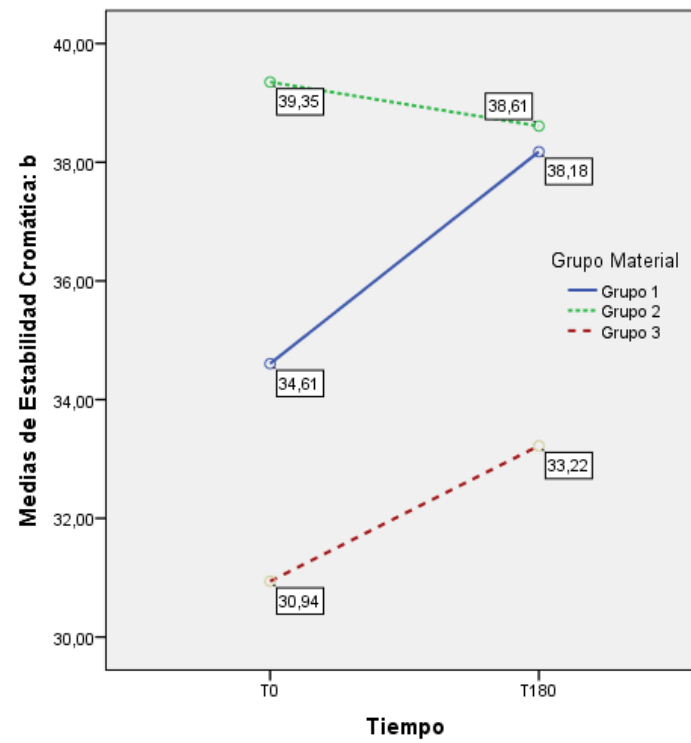


Fig. 29: Estabilidad cromática. Cambio en el TIEMPO de la variable b^* para el GROSOR 2 mm, según tipo de MATERIAL.



7.- Estudio del ΔE^* :

Para finalizar con el estudio de la estabilidad cromática, se calculó la variable ΔE^* a partir de la expresión:

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{[(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]}$$

Los valores de ΔL^* , Δa^* , Δb^* para esta fórmula se obtuvieron a partir de las medias aritméticas de los valores medidos con el espectrofotómetro para L^* , a^* y b^* en cada tiempo de medida (T0 y T180). Los datos hallados con este instrumento de medida están plasmados en las tablas excel que figuran en el anexo de Estabilidad Cromática Grupo 1, Grupo 2 y Grupo 3.

La variable ΔE^* se distribuyó para la muestra completa de 90 pastillas (N=90. 30 pastillas del Grupo 1, 30 pastillas del Grupo 2, 30 pastillas del Grupo 3) dentro de un rango: 0,77 a 5,85 (mediana: 2,57) con una media de $2,74 \pm$ d.t. 1,07 (IC para la media al 95%: 2,52 – 2,97) que fue significativa con $p < ,001$ (T=24,38; 89 gl, $p = ,000$). Tuvo unos valores de asimetría y curtosis dentro de la normalidad, que se confirmó con el test de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov según el cual con $p > ,05$ ($p = ,164$) no presentó desvío significativo con respecto al modelo de la campana de Gauss.

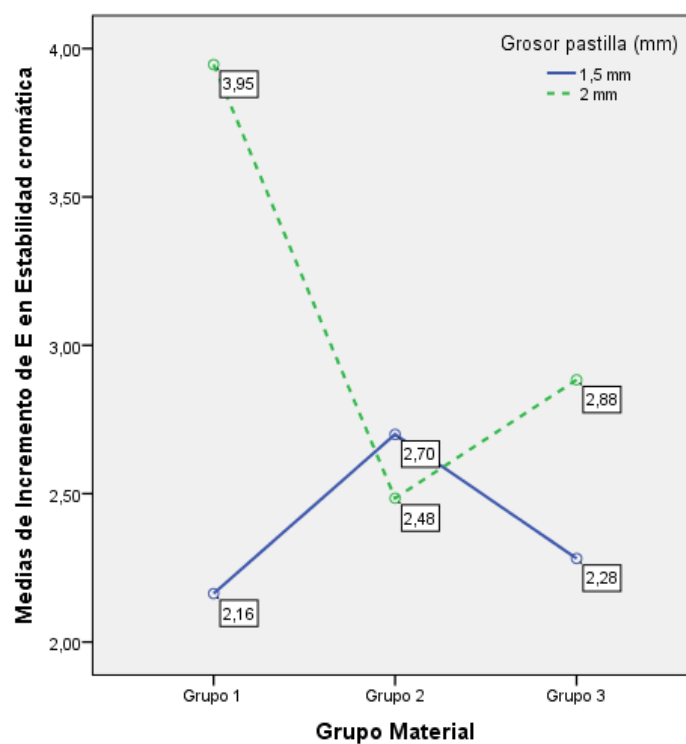
Para contrastar si sobre este ΔE^* ejerció efecto tanto el tipo de material como el grosor, se optó por emplear de nuevo un ANOVA, en este caso de 2 factores de efectos fijos, cuyos resultados se resumen en la tabla 10 y se representan en la fig. 30. La conclusión fue que las diferencias entre el tipo de material no alcanzaron significación por escaso margen, se podría decir que fueron casi significativas. Sí lo fueron y altamente significativas tanto por el grosor como por la combinación material/grosor. En la fig. 30 se observa cómo el valor del ΔE^* fue claramente mayor en las pastillas de 2 mm de grosor del Grupo 1 y más bajo en las muestras de 1,5 mm de grosor de ese mismo Grupo 1, estando todas las demás muy próximas entre sí.

Tabla 10: ANOVA de 2 factores. Significación de los efectos del MATERIAL y el GROSOR sobre el ΔE^* de Estabilidad cromática.

Variable / FACTOR	Grupos / N	Medias	F	g.l	p	Eta ² parcial	Potencia
ΔE^* Grupo Material	3 / 30	G1: 3,05 ; G2: 2,59 ; G3: 2,58	2,61	2 ; 84	,079 ^{NS}	-	-
Grosor	2 / 45	1,5mm: 2,38 ; 2mm: 3,10	14,08	1 ; 84	,000**	,144	,960
Interacción Grosor / Material	6 / 15	(Ver fig. 30)	9,06	2 ; 84	,000**	,177	,971

NS = no significativo ($p > ,050$) * Significativo al 5% ** Altamente Significativo a 1%

Fig. 30: Estabilidad cromática. Variable ΔE^* . Medias por tipo de MATERIAL y GROSOR.



8.- Análisis de la variabilidad.

Al comparar los resultados estadísticos entre los test paramétricos y sus alternativas no paramétricas se demostró que la cuestión que vamos a exponer a continuación no tuvo ninguna trascendencia en los contrastes de medias anteriormente expuestos. Sin embargo, sí que puede ser interesante en sí mismo el estudio de las diferencias entre unas pastillas y otras fabricadas por el mismo procedimiento y con el mismo material en el momento de la fabricación (T0), es decir analizar la variabilidad dentro de cada grupo (la homogeneidad entre pastillas) y compararla entre materiales. El objetivo es saber si la homogeneidad interna fue similar en todos los materiales. Para ello se empleó el test de Levene que comprueba la homocedasticidad (igual entre varianzas) con cada una de las variables medidas (ver tabla 11). Como se aprecia en ésta, aparecieron ciertas diferencias significativas:

- Variable L^* : las pastillas del material de Grupo 2 fueron significativamente, con $p < ,05$, más homogéneas entre sí que las pastillas del material del Grupo 1 lo fueron entre ellas. Entre las de los grupos 1 y 3, aunque las del Grupo 1 seguían siendo más variables, no se alcanzó significación ($p > ,05$).
- Variable C^* : aunque en la observación general no se encontró significación, eso sí, por escaso margen, en la comparación por pares sí que apareció una diferencia ligeramente significativa ($p < ,05$) según la cual de nuevo en el Grupo 2 había más homogeneidad interna, esta vez con respecto al Grupo 3.
- Variable h° : en este caso, claramente las muestras del Grupo 3 tenían significativamente ($p < ,05$) más variabilidad entre sí que las de los otros dos grupos.
- Variable a^* : similar a la anterior, las del Grupo 3 tenían más variabilidad interna entre sí (diferencia altamente significativa con $p < ,001$) que las de los otros dos grupos de materiales.
- Variable b^* : aunque la varianza en el Grupo 3 volvió a ser mayor que en los otros dos, esta vez la diferencia no llegó a ser estadísticamente significativa ($p > ,05$).

En resumen, a la vista global de los resultados en T0, excepto en la variable L^* , en todas las demás variables las muestras del Grupo 3 presentaron más variaciones entre unas pastillas y otras, que las muestras de los otros dos materiales. Siendo algunas de estas diferencias significativas.

Tras esta conclusión se decidió repetir el análisis con los valores en T180 para comprobar si la situación de partida se mantuvo después del termociclado o había variado (ver tabla 12); y como se puede comprobar sí que hubo notables cambios. Aunque la varianza del material del Grupo 3 siguió presentando la mayor varianza en todas las variables, solo en la variable α^* mantuvo la diferencia significativa, aunque ahora solo con $p < ,05$. Pero siguió habiendo diferencias significativas. Lo que ocurrió es que los resultados para el material del Grupo 1 se hicieron mucho más homogéneos entre sí con el paso del tiempo, es decir, las pastillas de este Grupo 1 fueron muy parecidas entre sí tras el envejecimiento artificial, y aparecieron diferencias altamente significativas con $p < ,001$ con respecto tanto al material del Grupo 3 como al del Grupo 2. Estos, en general, se mantuvieron similares en cuanto a la homogeneidad intragrupo que presentaban al inicio, T0.

Tabla 11: Test de homocedasticidad. Comparación de variabilidad intragrupo en T0

Variable / Material	N	Varianza	Test de Levene						
			Valor	gl	P-sig	Par	Valor	P-sig	
L*	Grupo 1	30	1,59	3,54	2 ; 87	,033 *	G1 – G2	6,84	,011 *
	Grupo 2	30	0,65				G1 – G3	1,97	,166 ^{NS}
	Grupo 3	30	1,01				G2 – G3	1,60	,211 ^{NS}
C*	Grupo 1	30	3,26	2,95	2 ; 87	,058 ^{NS}	G1 – G2	1,44	,234 ^{NS}
	Grupo 2	30	2,54				G1 – G3	1,95	,168 ^{NS}
	Grupo 3	30	7,09				G2 – G3	4,50	,038 *
h°	Grupo 1	30	0,50	4,75	2 ; 87	,011 *	G1 – G2	0,03	,861 ^{NS}
	Grupo 2	30	0,57				G1 – G3	5,94	,018 *
	Grupo 3	30	1,72				G2 – G3	5,13	,027 *
α^*	Grupo 1	30	0,13	15,39	2 ; 87	,000**	G1 – G2	0,79	,379 ^{NS}
	Grupo 2	30	0,19				G1 – G3	17,99	,000**
	Grupo 3	30	1,47				G2 – G3	14,79	,000**
b*	Grupo 1	30	3,30	1,78	2 ; 87	,175 ^{NS}	G1 – G2	0,93	,340 ^{NS}
	Grupo 2	30	2,74				G1 – G3	1,11	,296 ^{NS}
	Grupo 3	30	6,25				G2 – G3	2,80	,100 ^{NS}

NS = no significativo ($p > ,050$)

* Significativo al 5%

** Altamente Significativo al 1%

Tabla 12: Test de homocedasticidad. Comparación de variabilidad intragrupo en T180

Variable / Material	N	Varianza	Test de Levene						
			Valor	gl	P-sig	Par	Valor	P-sig	
L*	Grupo 1	30	0,40				G1 – G2	6,18	,016 *
	Grupo 2	30	1,08	7,76	2 ; 87	,001**	G1 – G3	17,42	,000**
	Grupo 3	30	1,62				G2 – G3	2,29	,136 ^{NS}
C*	Grupo 1	30	0,57				G1 – G2	19,29	,000**
	Grupo 2	30	3,76	9,39	2 ; 87	,000**	G1 – G3	16,19	,000**
	Grupo 3	30	6,98				G2 – G3	0,97	,328 ^{NS}
h°	Grupo 1	30	0,05				G1 – G2	54,86	,000**
	Grupo 2	30	1,30	19,25	2 ; 87	,000**	G1 – G3	28,56	,000**
	Grupo 3	30	1,55				G2 – G3	0,01	,923 ^{NS}
a*	Grupo 1	30	0,02				G1 – G2	36,92	,000**
	Grupo 2	30	0,40	18,95	2 ; 87	,000**	G1 – G3	30,02	,000**
	Grupo 3	30	1,58				G2 – G3	6,51	,013 *
b*	Grupo 1	30	0,57				G1 – G2	21,13	,000**
	Grupo 2	30	3,96	9,05	2 ; 87	,000**	G1 – G3	14,98	,000**
	Grupo 3	30	5,96				G2 – G3	0,24	,628 ^{NS}

NS = no significativo (p>,050)

* Significativo al 5%

** Altamente Significativo al 1%

FLUORESCENCIA

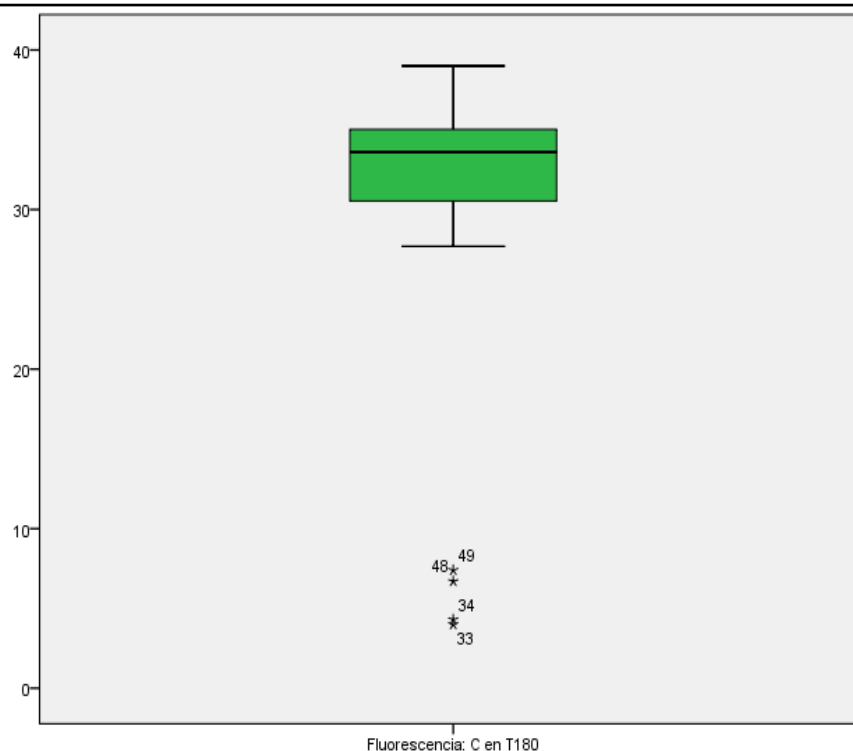
1.- Análisis exploratorio y descriptivo previo.

De la misma forma que en la propiedad anterior, y debido a que en cada medición se efectuaron tres disparos con el espectrofotómetro, en primer lugar se procedió a calcular la media aritmética de dichos valores observados.

Con estos valores promedio, únicos por pastilla, se realizó el análisis exploratorio y descriptivo de todas las variables de fluorescencia incluyendo el estudio de la posible presencia de valores extremos y el análisis del ajuste al modelo de la normal de Gauss con el test de Kolmogorov-Smirnov ($N > 50$).

Los resultados de estos análisis revelaron la existencia de valores marcadamente atípicos en algunas de las variables relacionadas con la fluorescencia. Sirva como ejemplo, el diagrama de caja de la variable C^* (ver fig. 31). Una vez revisados los datos y descartados errores de transcripción, en previsión de que se pudiese tratar de un error en la calibración del espectrofotómetro y de ahí valores alterados, se decidió eliminar para el estudio de esta propiedad a dos pastillas con sus dos grosores y evitar así su efecto distorsionador sobre los estadísticos (tanto las medias como las desviaciones estándar) que tras la descripción, posteriormente se contrastaron en las pruebas de significación. En consecuencia, el N total para esta propiedad se redujo de 90 a 86 muestras.

Fig. 31: Fluorescencia. Diagrama de caja. Ejemplo de valores atípicos obtenidos.



El resto del estudio de la fluorescencia se realizó, por tanto, solamente con las 86 pastillas válidas. Con ellas, ya no apareció ningún valor que pudiera ser considerado como atípico. Por su parte, en el estudio de la bondad de ajuste con el modelo normal de Gauss, dicho ajuste se verificó en tres de las variables con $p > 0,05$ y presentó un desajuste leve/tolerable con $p > 0,01$ en otras dos. Pero en las variables h^* y a^* en ambos momentos de medida, y en L^* en T180, se observó un desajuste significativo con $p < 0,001$ con respecto al modelo normal. Como consecuencia de esto, al igual que en los análisis de la estabilidad cromática de la parte anterior, los test estadísticos paramétricos tuvieron que ser contrastados con su alternativa no-paramétrica para comprobar si se obtuvieron resultados similares. Finalmente, la tabla 13 muestra los estadísticos descriptivos de las variables analizadas en esta propiedad.

Tabla 13: Análisis descriptivo y exploratorio. Fluorescencia en T0 y T180. Muestra válida (N=86).

Variable	L*		C*		h°		a*		b*		
	T0	T180	T0	T180	T0	T180	T0	T180	T0	T180	
Media	74,62	75,18	31,33	33,29	92,91	91,68	-2,05	-1,18	31,07	32,94	
IC 95%	L.Infer.	74,09	74,57	30,33	32,70	91,50	89,93	-2,82	-2,20	30,09	32,37
	L.Sup.	75,16	75,79	32,34	33,88	94,33	93,43	1,27	-0,17	32,05	33,52
Mediana	74,93	75,82	32,65	33,68	96,09	94,77	-3,50	-2,80	32,47	33,47	
Mínimo	70,90	70,93	20,37	27,70	81,83	77,23	-7,17	-7,07	20,33	27,47	
Máximo	79,43	85,77	38,50	39,00	102,77	102,67	4,17	8,60	38,17	38,43	
Desv. Típica	2,49	2,85	4,69	2,75	6,59	8,17	3,60	4,73	4,57	2,69	
Rec. Intercuartil	4,56	5,78	828	3,96	13,84	16,46	7,77	9,57	7,96	4,41	
Asimetría	0,04	-0,12	-0,47	-0,15	-0,54	-0,41	0,47	0,45	-0,48	-0,20	
Curtosis	-1,16	-1,34	-0,84	-0,61	-1,46	-1,44	-1,44	-1,28	-0,83	-0,67	
p-valor (test K-S)	,060 ^{NS}	,003**	,027*	,097 ^{NS}	,000**	,000**	,000**	,000**	,023*	,285 ^{NS}	

NS = no significativo ($p > ,050$) * Significativo al 5% desvío leve ** Altamente Significativo al 1% desvío grave
L* = **valor** C* = **intensidad** h° = **tinte** T0= medida al inicio T180= después del termociclado

2.- Diferencia entre materiales en origen (T0).

Se compararon las cinco variables de fluorescencia en sus valores en T0 con el objetivo de averiguar si había diferencias en origen. Se compararon los tres tipos de materiales de nuevo con un Análisis de Varianza (ANOVA) de un factor de efectos fijos, acompañado de un test de contraste múltiple a posteriori HSD de Tukey. La comentada falta de normalidad en alguna de las variables recomendó el uso, como medio de comprobación de los resultados de ANOVA, de sus alternativas no paramétricas Kruskal-Wallis y Mann-Whitney cuando fuese necesario. No obstante, dado el tamaño de la muestra y como ya ocurrió en la propiedad anterior, era de esperar que la ausencia de normalidad no fuese un problema que implicase variación en la presencia/ausencia de significación (ver tabla 14).

Como se puede observar en ella, en todas las variables existieron diferencias altamente significativas con $p < ,001$ y potencia muy alta ($> ,999$), significaciones que se confirmaron con los test alternativos no-paramétricos. El tamaño del efecto fue también muy elevado (entre ,885 y ,978) por lo que las diferencias entre los grupos fueron grandes. Las comparaciones por pares indicaron la existencia, también alta, de

significación con $p < ,001$ entre todas las combinaciones posibles, por lo que se pudieron ordenar los materiales de la siguiente manera:

- variable L^* : Grupo 3 (77,30) > Grupo 2 (74,87) > Grupo 1 (71,73); (ver fig. 32).
- variable C^* : Grupo 2 (36,32) > Grupo 1 (32,67) > Grupo 3 (25,67); (ver fig. 33).
- variable h° : Grupo 2 (99,15) > Grupo 1 (96,21) > Grupo 3 (84,22); (ver fig. 34).
- variable a^* : Grupo 3 (2,64) > Grupo 1 (-3,52) > Grupo 2 (-5,74); (ver fig. 35).
- variable b^* : Grupo 2 (35,85) > Grupo 1 (32,47) > Grupo 3 (25,53); (ver fig. 36).

Tabla 14: Test de diferencia de medias. Variables de Fluorescencia, según tipo de Material, en T0.

Variable / Material	N	Media (IC 95%)	D.T.	Anova 1 factor			Tamaño efecto	Potencia	POST-HOC: Tukey Pares significativos	Test K-W P-sig	
				Valor F	gl	P-sig					
L^*	Grupo 1	30	71,73 (71,54 ; 71,92)	0,52							
	Grupo 2	26	74,87 (74,57 ; 75,18)	0,75	336,33	2 ; 83	,000**	,890	>,999	G3 > G2 p=,000** G3 > G1 p=,000** G2 > G1 p=,000**	,000**
	Grupo 3	30	77,30 (76,88 ; 77,71)	1,11							
C^*	Grupo 1	30	32,67 (32,39 ; 32,95)	0,75							
	Grupo 2	26	36,32 (35,77 ; 36,88)	1,38	335,42	2 ; 83	,000**	,890	>,999	G2 > G1 p=,000** G2 > G3 p=,000** G1 > G3 p=,000**	,000**
	Grupo 3	30	25,67 (24,85 ; 26,50)	2,21							
h°	Grupo 1	30	96,21 (96,05 ; 96,36)	0,41							
	Grupo 2	26	99,15 (98,69 ; 99,61)	1,15	1662,54	2 ; 83	,000**	,976	>,999	G2 > G1 p=,000** G2 > G3 p=,000** G1 > G3 p=,000**	,000**
	Grupo 3	30	84,22 (83,71 ; 84,72)	1,34							
a^*	Grupo 1	30	-3,52 (-3,59 ; -3,46)	0,18							
	Grupo 2	26	-5,74 (-5,94 ; -5,55)	0,48	1815,17	2 ; 83	,000**	,978	>,999	G3 > G1 p=,000** G3 > G2 p=,000** G1 > G2 p=,000**	,000**
	Grupo 3	30	2,64 (2,35 ; 2,93)	0,79							
b^*	Grupo 1	30	32,47 (32,19 ; 32,75)	0,76							
	Grupo 2	26	35,85 (35,26 ; 36,45)	1,47	318,68	2 ; 83	,000**	,885	>,999	G2 > G1 p=,000** G2 > G3 p=,000** G1 > G3 p=,000**	,000**
	Grupo 3	30	25,53 (24,73 ; 26,34)	2,15							

NS = no significativo ($p > ,050$)

* Significativo al 5%

** Altamente Significativo al 1%

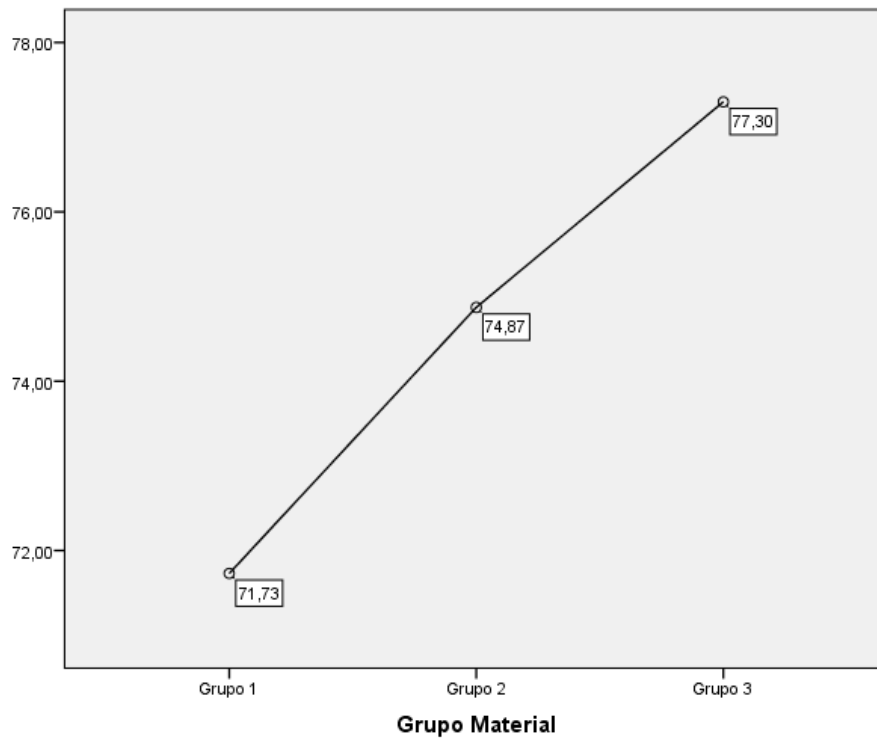
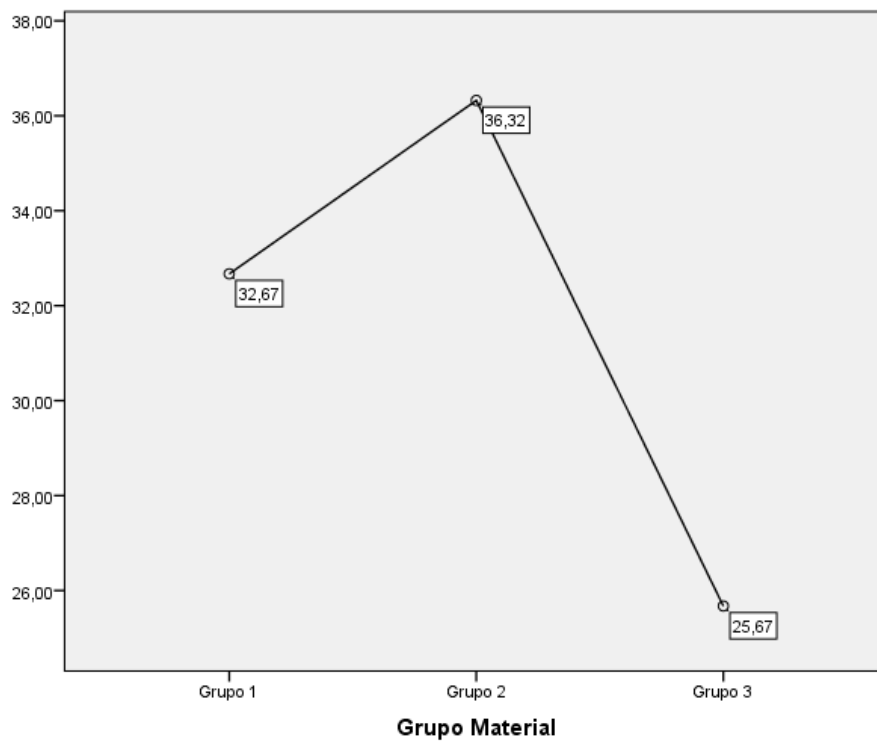
Fig. 32: Fluorescencia. Variable L^* . Medias por tipo de MATERIAL en T0.**Fig. 33:** Fluorescencia. Variable C^* . Medias por tipo de MATERIAL en T0.

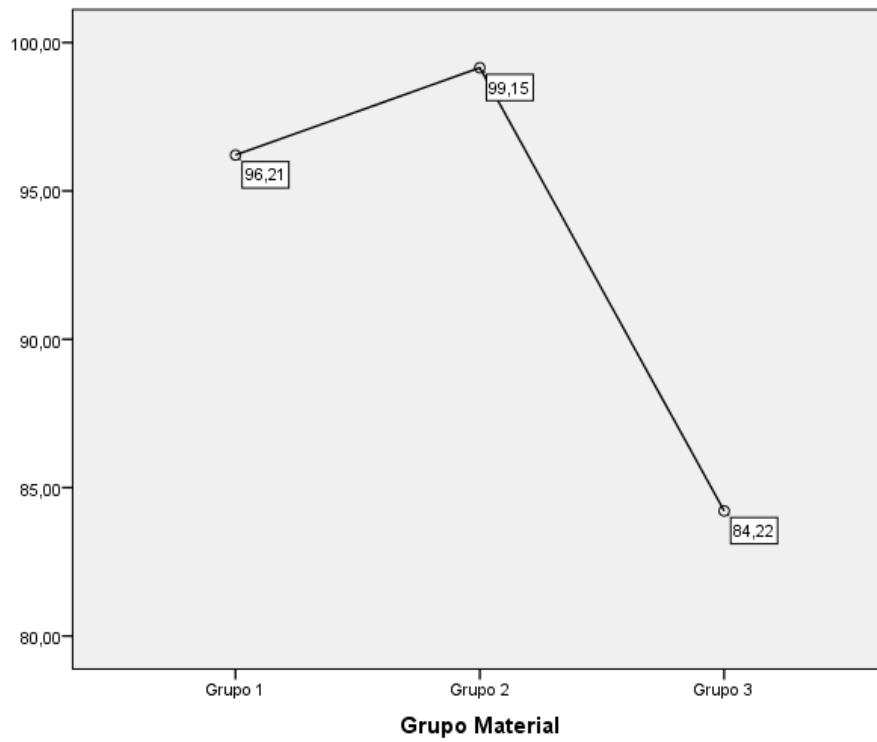
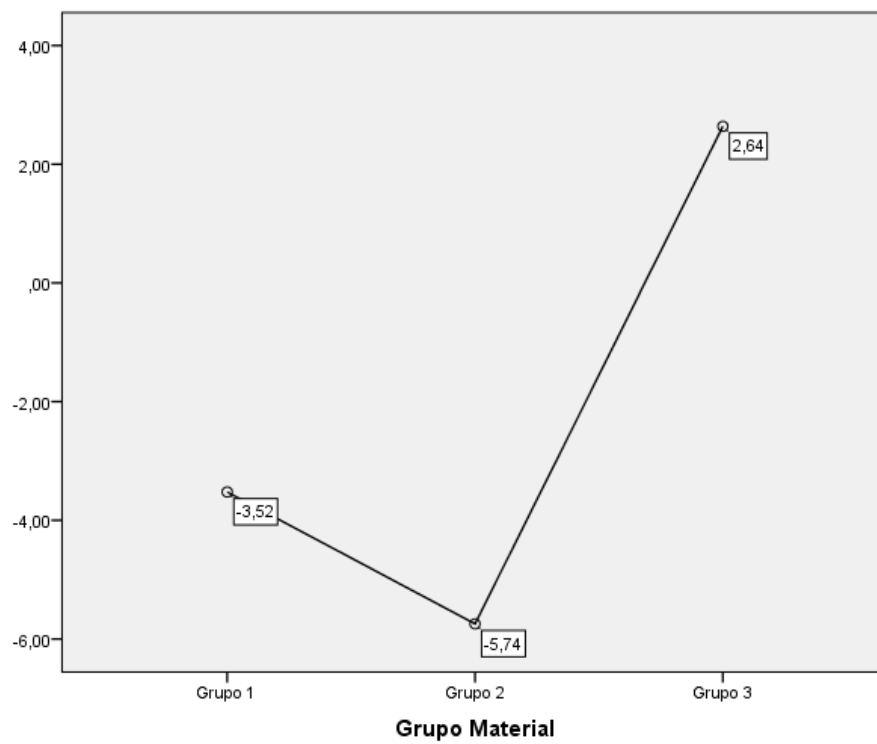
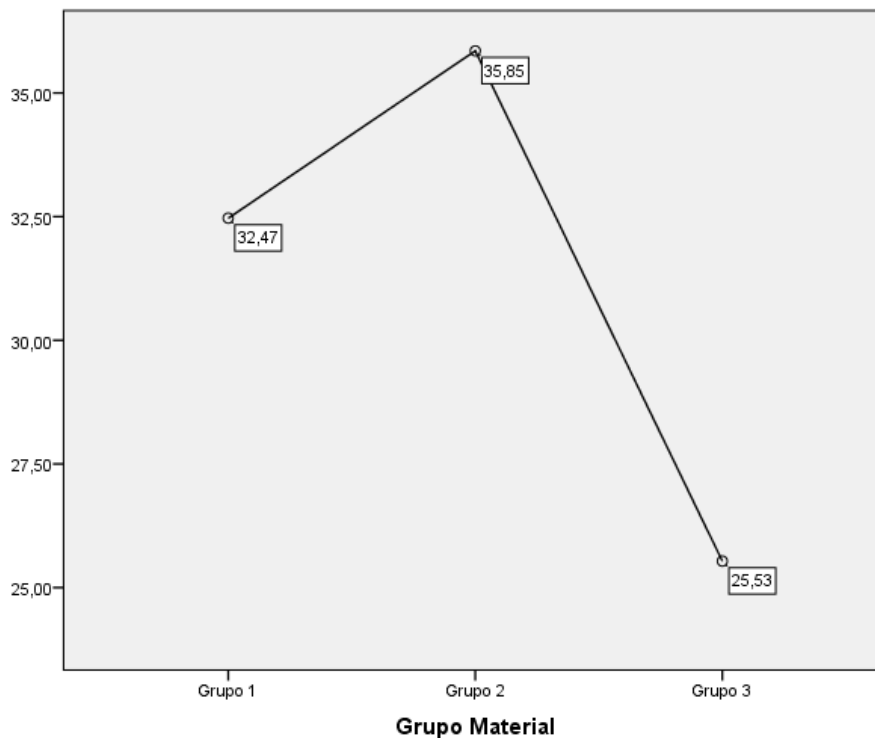
Fig. 34: Fluorescencia. Variable h° . Medias por tipo de MATERIAL en T0.**Fig. 35:** Fluorescencia. Variable a^* . Medias por tipo de MATERIAL en T0.

Fig. 36: Fluorescencia. Variable b^* . Medias por tipo de MATERIAL en T0.



3.- Diferencia entre materiales después del proceso de termociclado (T180).

Se realizó la comparación entre materiales con los valores obtenidos después del termociclado (T180) con objeto de saber si se mantenían las diferencias ya observadas al cabo de ese tiempo. Se utilizó el mismo procedimiento estadístico (ver tabla 15). Estos indican que se mantuvo la significación de las diferencias con $p < ,001$ en todas las variables, junto a una elevada potencia ($> ,999$ de nuevo) y altos tamaños del efecto (entre $,410$ y $,976$), aunque disminuyó con respecto al anterior en las variables C^* y b^* . La alternativa no-paramétrica de nuevo confirmó estos resultados. Los test HSD por pares determinan que salvo en un par, en todos los demás existió una diferencia altamente significativa con $p < ,001$, que permitió ordenar los materiales de la siguiente forma:

- variable L^* : Grupo 3 (78,11) > Grupo 2 (75,86) > Grupo 1 (71,67); (ver fig. 37).
- variable C^* : Grupo 2 (35,33) > Grupo 1 (33,75) > Grupo 3 (31,06); (ver fig. 38).
- variable h° : Grupo 2 (100,24) > Grupo 1 (94,81) > Grupo 3 (81,14); (ver fig. 39).
- variable a^* : Grupo 3 (4,85) > Grupo 1 (-2,85) > Grupo 2 (-6,23); (ver fig. 40).

Y únicamente en la variable b^* , como ya se advirtió, hubo una variación dado que la diferencia en el par entre los grupos G1 y G2 ya no fue significativa ($p > ,05$), por lo que:

- variable b^* : [Grupo 2 (34,76) = Grupo 1 (33,63)] > Grupo 3 (30,68); (ver fig. 41).

Tabla 15: Test de diferencia de medias. Variables de Fluorescencia, según tipo de Material, en T180.

Variable / Material	N	Media (IC 95%)	D.T.	Anova 1 factor			Tamaño efecto	Potencia	POST-HOC: Tukey Pares significativos	Test K-W P-sig	
				Valor F	gl	P-sig					
L^*	Grupo 1	30	71,67 (71,54 ; 71,79)	0,34	519,52	2 ; 83	,000**	,926	>,999	G3 > G2 p=,000** G3 > G1 p=,000** G2 > G1 p=,000**	,000**
	Grupo 2	30	75,86 (75,56 ; 76,15)	0,73							
	Grupo 3	30	78,11 (77,70 ; 78,52)	1,09							
C^*	Grupo 1	30	33,75 (33,37 ; 34,13)	1,01	28,80	2 ; 83	,000**	,410	>,999	G2 > G1 p=,000** G2 > G3 p=,000** G1 > G3 p=,000**	,000**
	Grupo 2	30	35,33 (34,48 ; 36,18)	2,11							
	Grupo 3	30	31,06 (30,00 ; 32,13)	2,86							
h°	Grupo 1	30	94,81 (94,59 ; 95,02)	0,57	1681,59	2 ; 83	,000**	,976	>,999	G2 > G1 p=,000** G2 > G3 p=,000** G1 > G3 p=,000**	,000**
	Grupo 2	30	100,24 (99,61 ; 100,88)	1,57							
	Grupo 3	30	81,14 (80,58 ; 81,70)	1,50							
a^*	Grupo 1	30	-2,85 (-2,92 ; -2,77)	0,20	1205,53	2 ; 83	,000**	,967	>,999	G3 > G1 p=,000** G3 > G2 p=,000** G1 > G2 p=,000**	,000**
	Grupo 2	30	-6,23 (-6,51 ; -5,96)	0,68							
	Grupo 3	30	4,85 (4,36 ; 5,35)	1,32							
b^*	Grupo 1	30	33,63 (33,25 ; 34,02)	1,03	29,31	2 ; 83	,000**	,414	>,999	G2 > G3 p=,000** G1 > G3 p=,000**	,000**
	Grupo 2	30	34,76 (33,87 ; 35,66)	2,21							
	Grupo 3	30	30,68 (29,68 ; 31,68)	2,68							

NS = no significativo ($p > ,050$)

* Significativo al 5%

** Altamente Significativo al 1%

Fig. 37: Fluorescencia. Variable L^* . Medias por tipo de MATERIAL en T180.

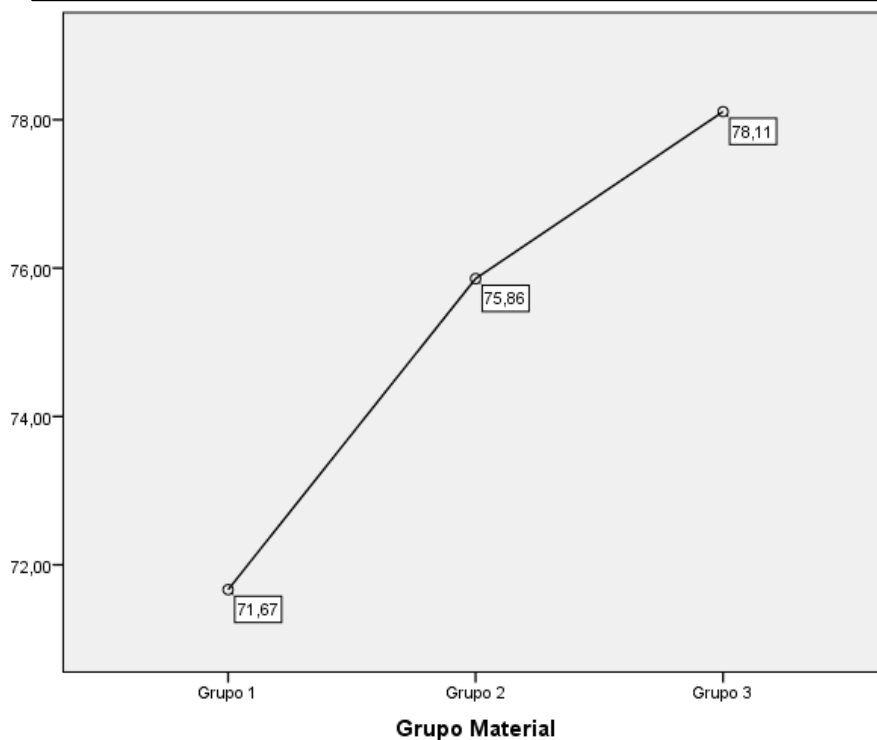


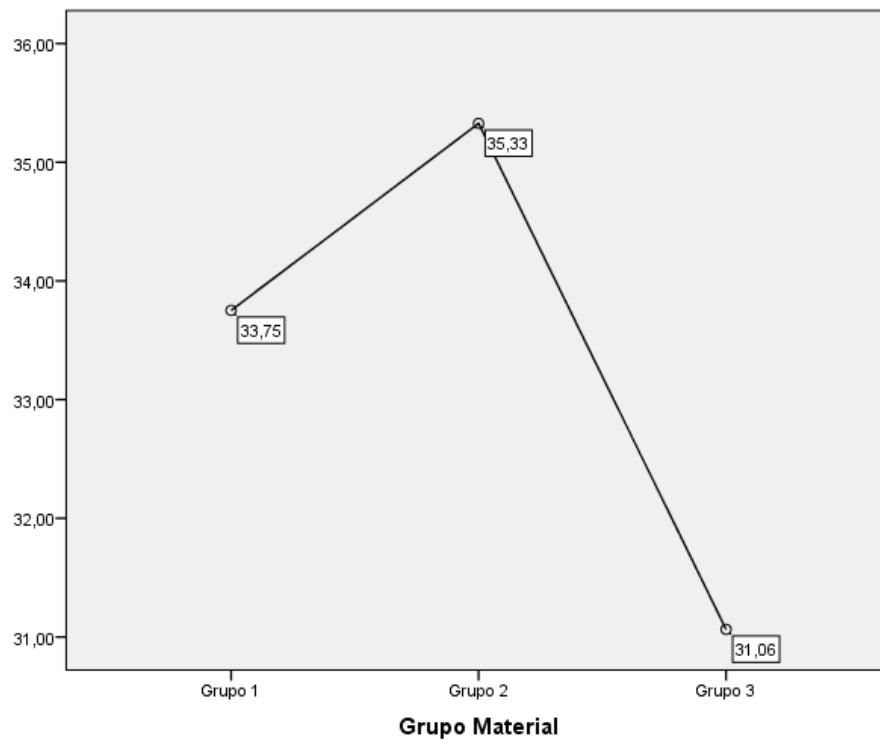
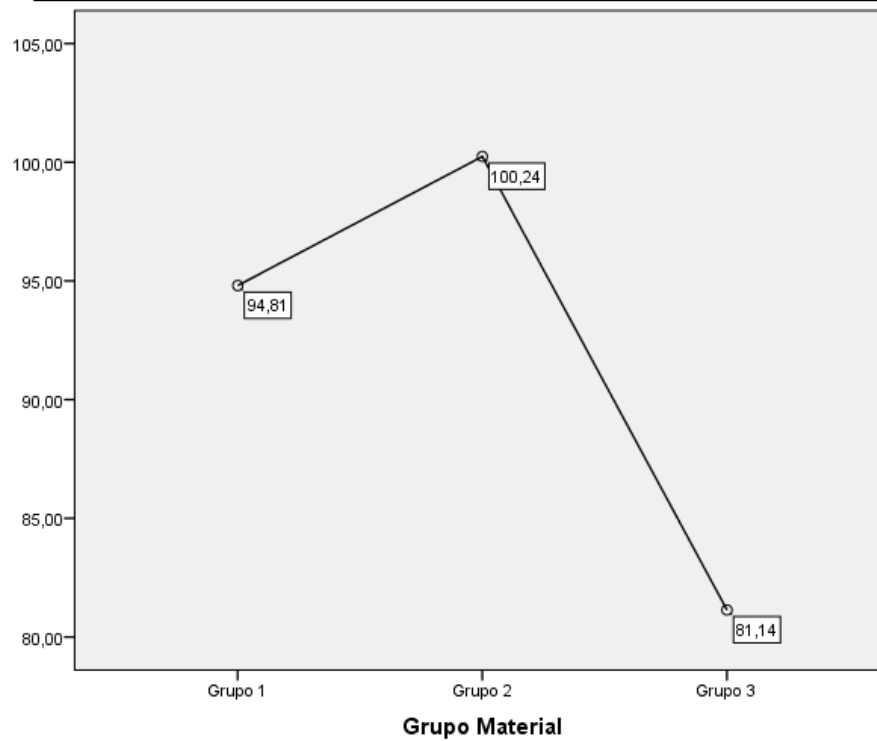
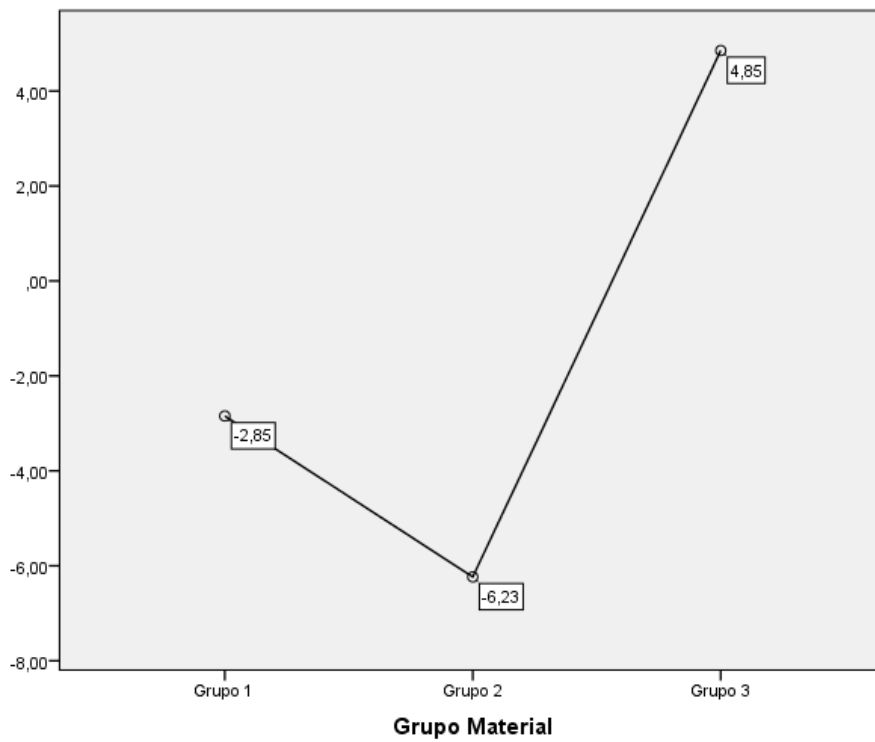
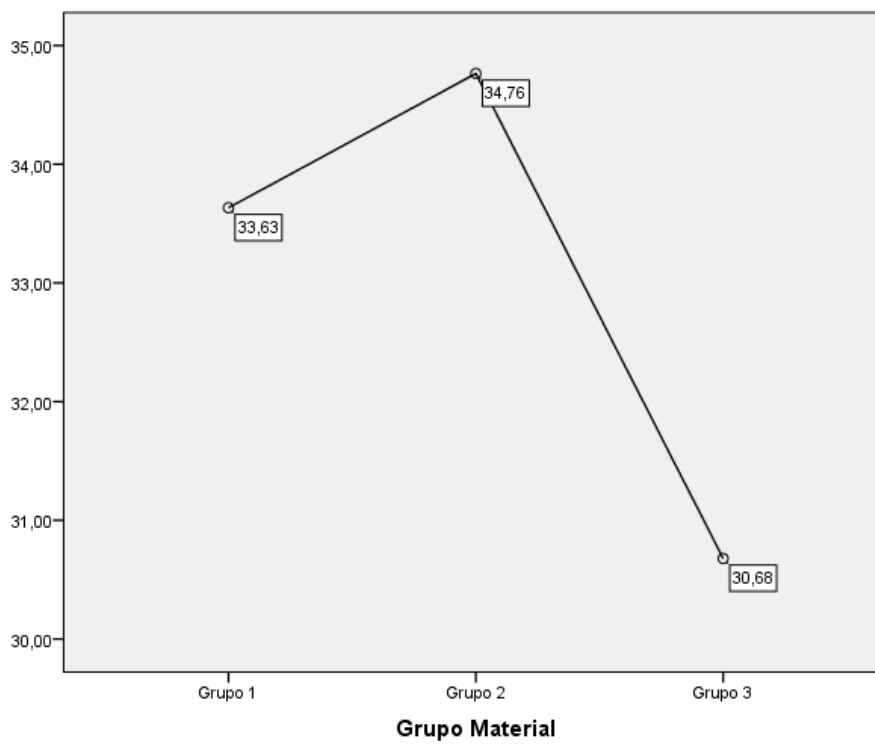
Fig. 38: Fluorescencia. Variable C^* . Medias por tipo de MATERIAL en T180.**Fig. 39:** Fluorescencia. Variable h° . Medias por tipo de MATERIAL en T180.

Fig. 40: Fluorescencia. Variable a^* . Medias por tipo de MATERIAL en T180.**Fig. 41:** Fluorescencia. Variable b^* . Medias por tipo de MATERIAL en T180.

4.- *Diferencia entre materiales y grosor en origen (T0).*

Al estudio que se realizó en el momento T0 donde se encontraron diferencias significativas entre los material, se añadió después como segundo factor el grosor de las pastillas, con el mismo planteamiento que en la propiedad anterior. En la tabla 16 se resumen los resultados de los ANOVAS de 2 factores efectuados.

En todas las variables, la interpretación de los resultados tuvo bastante similitud. Al ya conocido efecto del factor “tipo de material” que producía las diferencia ya observadas, se añadió el efecto del “tipo de grosor” de forma altamente significativa (con $p < ,001$) y alta potencia, pero con tamaños del efecto bajos/leves, lo que indica que aunque haya diferencias, éstas fueron más bien pequeñas. El estudio de la interacción desprendió algo parecido, ya que de nuevo hubo significación fuerte ($p < ,001$) y alta potencia, pero tamaños del efecto igualmente leves. De hecho en la observación de las figuras (ver fig. 42-46) se aprecia como las líneas entre ambos grosores están muy próximas entre sí y de forma bastante paralelas en los tres tipos de materiales. Más en detalle, se aprecia que en todas las variables tanto en el material del Grupo 1 como en el del Grupo 2 las diferencias entre grosores fueron bastante reducidas y donde únicamente se apreció una cierta diferencia fue en el material del Grupo 3.

Tabla 16: ANOVA de 2 factores. Significación de los efectos del MATERIAL y el GROSOR sobre la Fluorescencia, en TO.

Variable / FACTOR	Grupos / N	Medias	F	g.l	p	Eta ² parcial	Potencia	
L*	Grupo Material	3 / 30-26-30	G1: 71,73 ; G2: 74,87 ; G3: 77,30	491,94	2 ; 80	,000**	,925	>,999
	Grosor	2 / 43	1,5mm: 74,29 ; 2mm: 74,97	20,90	1 ; 80	,000**	,207	,995
	Interacción Grosor / Material	6 / 15-15-13-13-15-15	(Ver fig. 42)	9,62	2 ; 80	,000**	,194	,978
C*	Grupo Material	3 / 30-26-30	G1: 32,67 ; G2: 36,23 ; G3: 25,67	461,41	2 ; 80	,000**	,920	>,999
	Grosor	2 / 43	1,5mm: 30,97 ; 2mm: 32,14	16,25	1 ; 80	,000**	,169	,978
	Interacción Grosor / Material	6 / 15-15-13-13-15-15	(Ver fig. 43)	8,34	2 ; 80	,001**	,173	,957
h°	Grupo Material	3 / 30-26-30	G1: 96,21 ; G2: 99,15 ; G3: 84,22	2308,71	2 ; 80	,000**	,983	>,999
	Grosor	2 / 43	1,5mm: 93,59 ; 2mm: 92,80	17,19	1 ; 80	,000**	,177	,984
	Interacción Grosor / Material	6 / 15-15-13-13-15-15	(Ver fig. 44)	8,31	2 ; 80	,001**	,172	,957
a*	Grupo Material	3 / 30-26-30	G1: -3,52 ; G2: -5,75 ; G3: 2,64	2783,52	2 ; 80	,000**	,986	>,999
	Grosor	2 / 43	1,5mm: -2,42 ; 2mm: -1,99	20,60	1 ; 80	,000**	,205	,994
	Interacción Grosor / Material	6 / 15-15-13-13-15-15	(Ver fig. 45)	12,38	2 ; 80	,000**	,236	,995
b*	Grupo Material	3 / 30-26-30	G1: 32,47 ; G2: 35,85 ; G3: 25,53	427,95	2 ; 80	,000**	,915	>,999
	Grosor	2 / 43	1,5mm: 30,72 ; 2mm: 31,86	15,12	1 ; 80	,000**	,159	,970
	Interacción Grosor / Material	6 / 15-15-13-13-15-15	(Ver fig. 46)	7,60	2 ; 80	,001**	1,60	,939

NS = no significativo (p>,050) * Significativo al 5% ** Altamente Significativo a 1%

Fig. 42: Fluorescencia. Variable L^* . Medias por tipo de MATERIAL y GROSOR en T180.

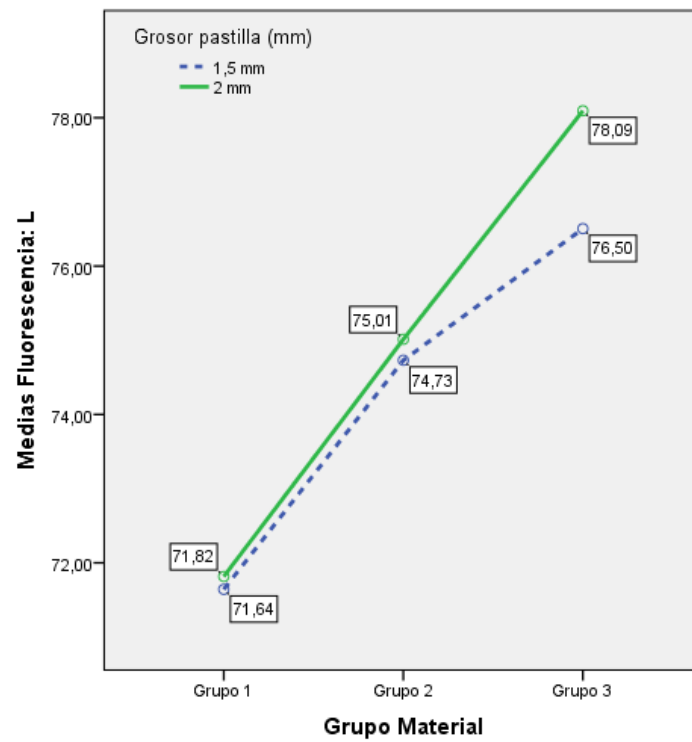


Fig. 43: Fluorescencia. Variable C^* . Medias por tipo de MATERIAL y GROSOR en T180.

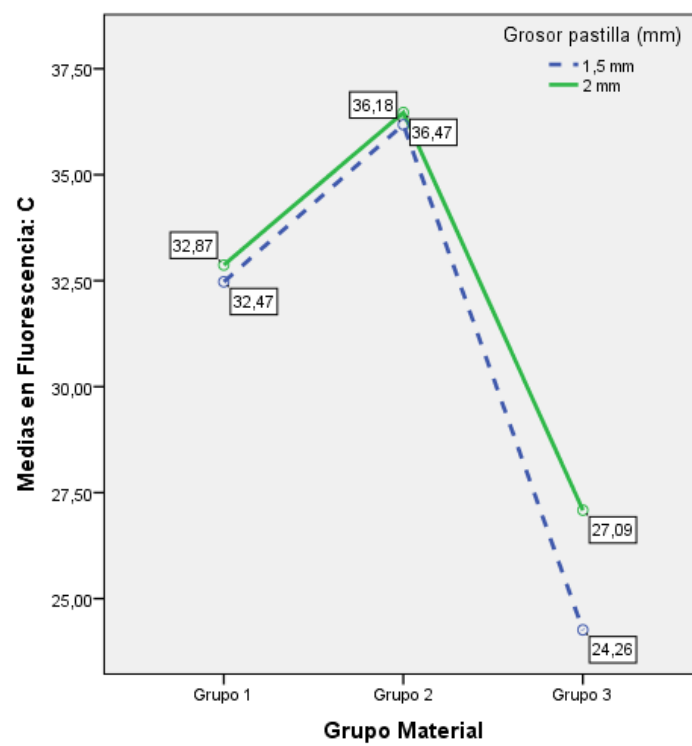


Fig. 44: Fluorescencia. Variable h° . Medias por tipo de MATERIAL y GROSOR en T180.

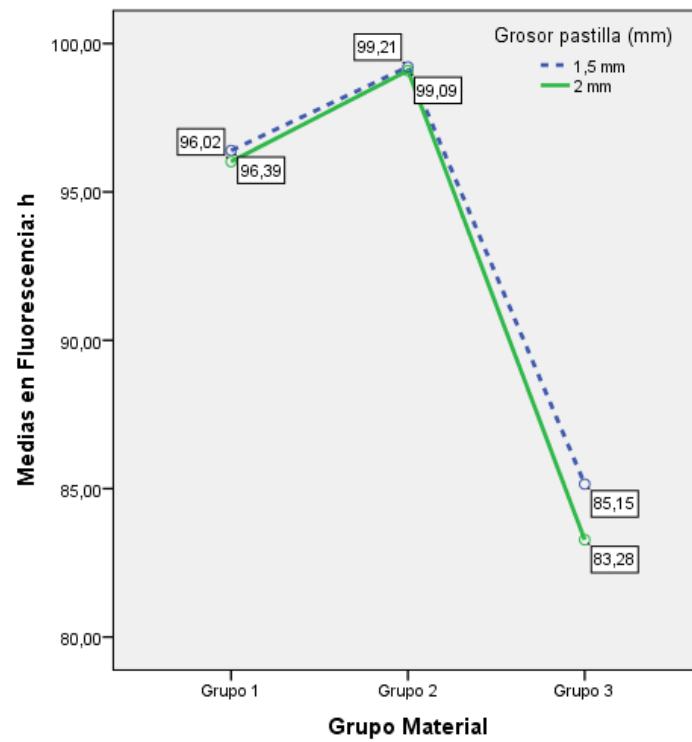


Fig. 45: Fluorescencia. Variable a^* . Medias por tipo de MATERIAL y GROSOR en T180.

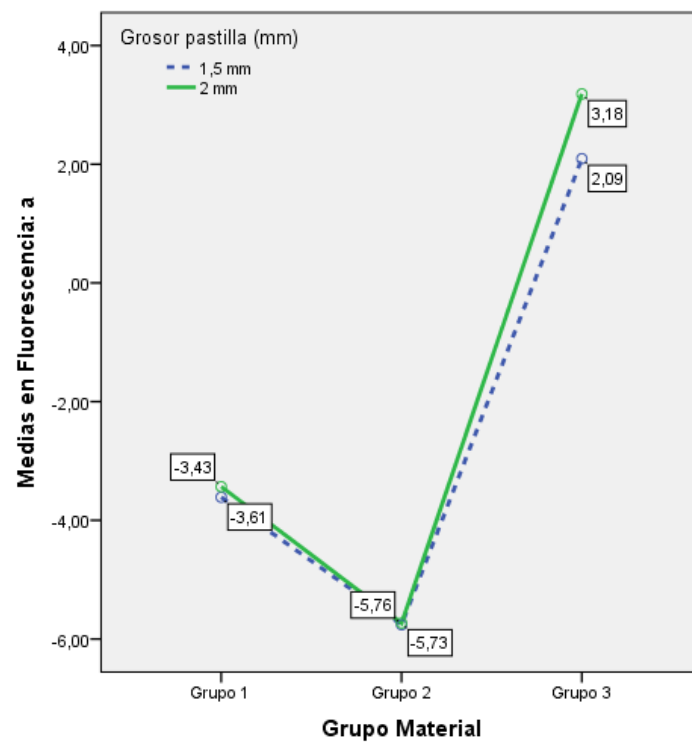
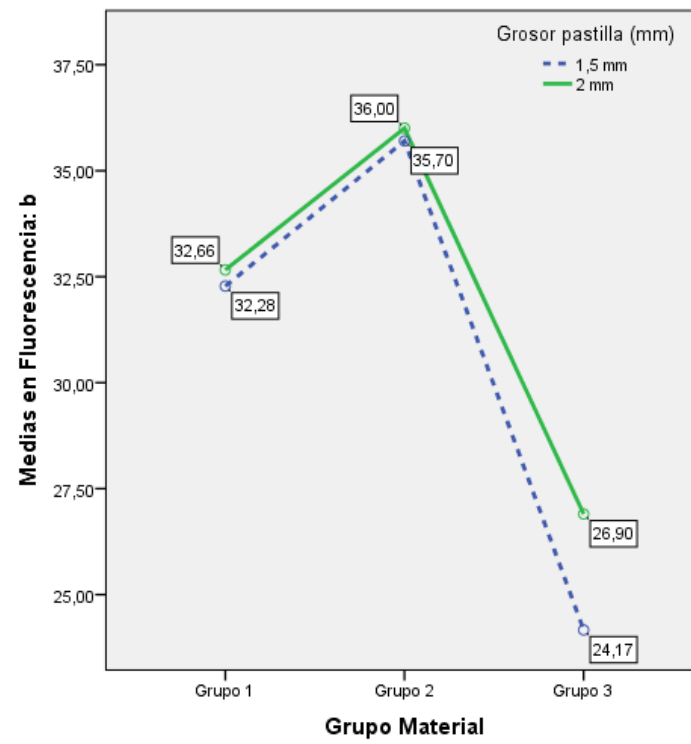


Fig. 46: Fluorescencia. Variable b^* . Medias por tipo de MATERIAL y GROSOR en T180.

5.- Diferencia entre materiales y grosor después del termociclado (T180).

Al igual que se hizo en el apartado anterior, se añadió al análisis del momento T180 como segundo factor de posible efecto, el grosor de las pastillas. Se utilizó el mismo procedimiento estadístico (ver tabla 17).

En ella se aprecia el ya conocido efecto del “tipo de material”, pero también cómo en ese momento temporal (T180) ya ni el grosor ni la interacción produjeron ningún efecto significativo ($p > ,05$) que pudiera provocar diferencias entre las medias (ver figs. 47-51).

Tabla 17: ANOVA de 2 factores. Significación de los efectos del MATERIAL y el GROSOR sobre la Fluorescencia, en T180.

Variable / FACTOR	Grupos / N	Medias	F	g.l	p	Eta ² parcial	Potencia
L*	Grupo Material	3 / 30-26-30 G1: 71,67 ; G2: 75,86 ; G3: 78,11	557,36	2 ; 84	,000**	,933	>,999
	Grosor	2 / 43 1,5mm: 75,07 ; 2mm: 75,35	3,03	1 ; 84	,085 ^{NS}	-	-
	Interacción Grosor / Material	6 / 15-15-13-13-15-15 (Ver fig. 42)	2,79	2 ; 84	,068 ^{NS}	-	-
C*	Grupo Material	3 / 30-26-30 G1: 33,75 ; G2: 35,33 ; G3: 31,06	28,00	2 ; 84	,000**	,412	>,999
	Grosor	2 / 43 1,5mm: 33,34 ; 2mm: 33,42	0,03	1 ; 84	,868 ^{NS}	-	-
	Interacción Grosor / Material	6 / 15-15-13-13-15-15 (Ver fig. 43)	0,32	2 ; 84	,727 ^{NS}	-	-
h°	Grupo Material	3 / 30-26-30 G1: 94,81 ; G2: 100,24 ; G3: 81,14	1673,04	2 ; 84	,000**	,977	>,999
	Grosor	2 / 43 1,5mm: 92,15 ; 2mm: 91,98	0,37	1 ; 84	,547 ^{NS}	-	-
	Interacción Grosor / Material	6 / 15-15-13-13-15-15 (Ver fig. 44)	10,4	2 ; 84	,358 ^{NS}	-	-
a*	Grupo Material	3 / 30-26-30 G1: -2,84 ; G2: -6,23 ; G3: 4,85	11,83,18	2 ; 84	,000**	,967	>,999
	Grosor	2 / 43 1,5mm: -1,46 ; 2mm: -1,36	0,32	1 ; 84	,575 ^{NS}	-	-
	Interacción Grosor / Material	6 / 15-15-13-13-15-15 (Ver fig. 45)	0,53	2 ; 84	,590 ^{NS}	-	-
b*	Grupo Material	3 / 30-26-30 G1: 33,63 ; G2: 34,76 ; G3: 30,68	28,51	2 ; 84	,000**	,416	>,999
	Grosor	2 / 43 1,5mm: 33,00 ; 2mm: 33,05	0,01	1 ; 84	,921 ^{NS}	-	-
	Interacción Grosor / Material	6 / 15-15-13-13-15-15 (Ver fig. 46)	0,35	2 ; 84	,703 ^{NS}	-	-

NS = no significativo ($p > ,050$) * Significativo al 5% ** Altamente Significativo a 1%

Fig. 47: Fluorescencia. Variable L^* . Medias por tipo de MATERIAL y GROSOR en T180.

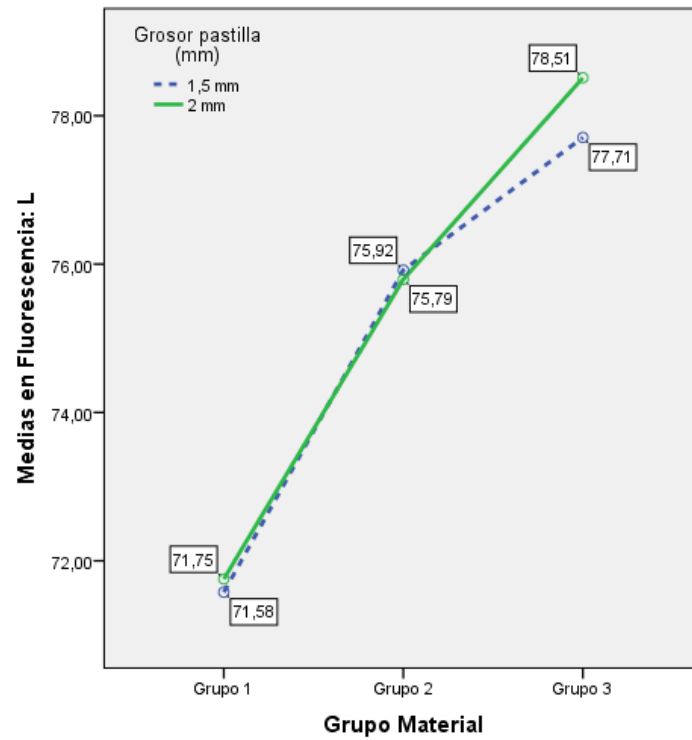


Fig. 48: Fluorescencia. Variable C^* . Medias por tipo de MATERIAL y GROSOR en T180.

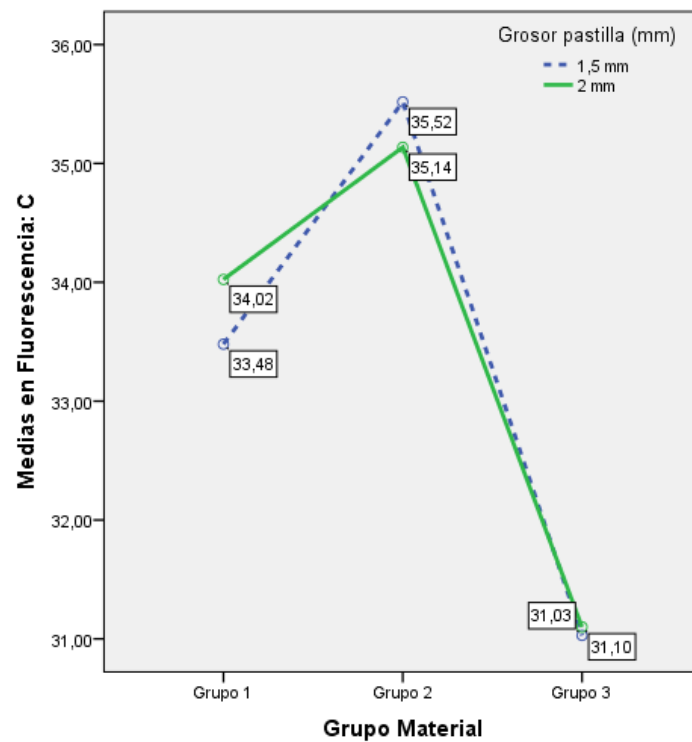


Fig. 49: Fluorescencia. Variable h^* . Medias por tipo de MATERIAL y GROSOR en T180.

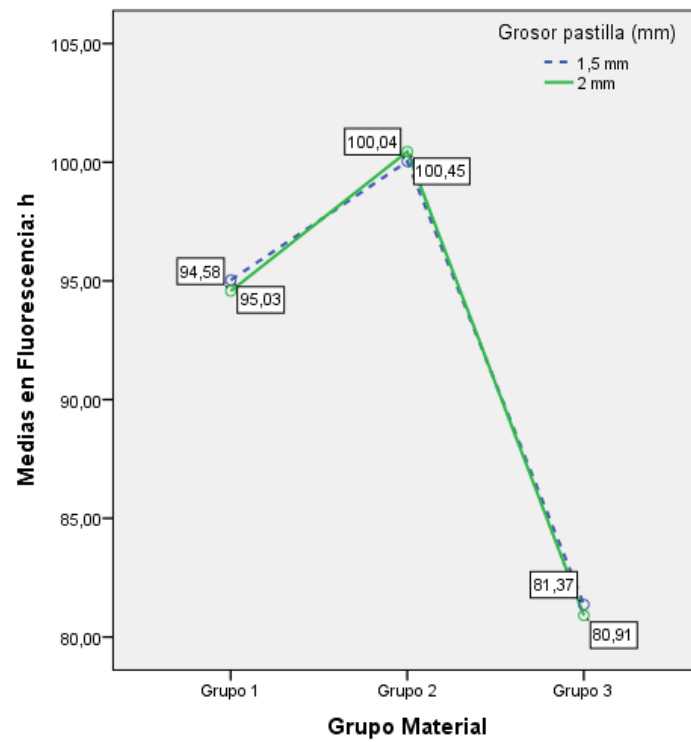


Fig. 50: Fluorescencia. Variable a^* . Medias por tipo de MATERIAL y GROSOR en T180.

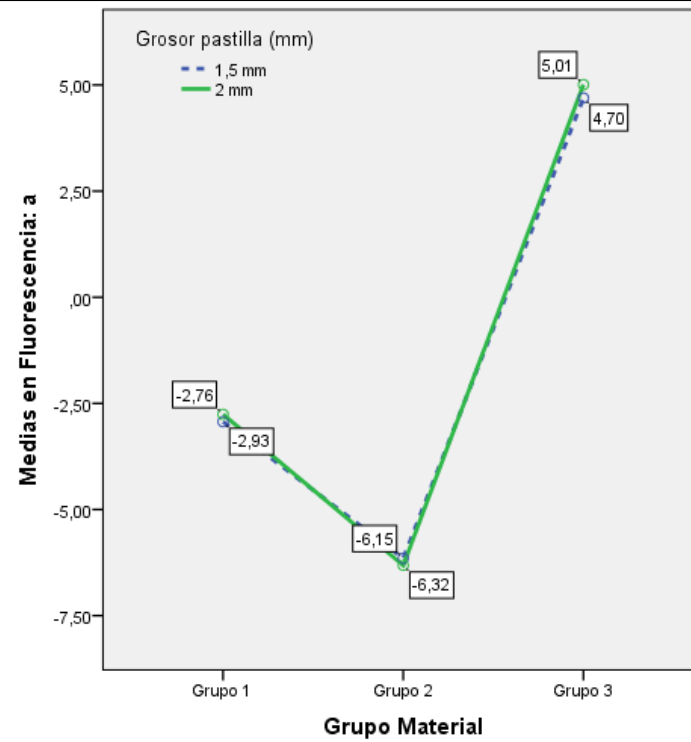
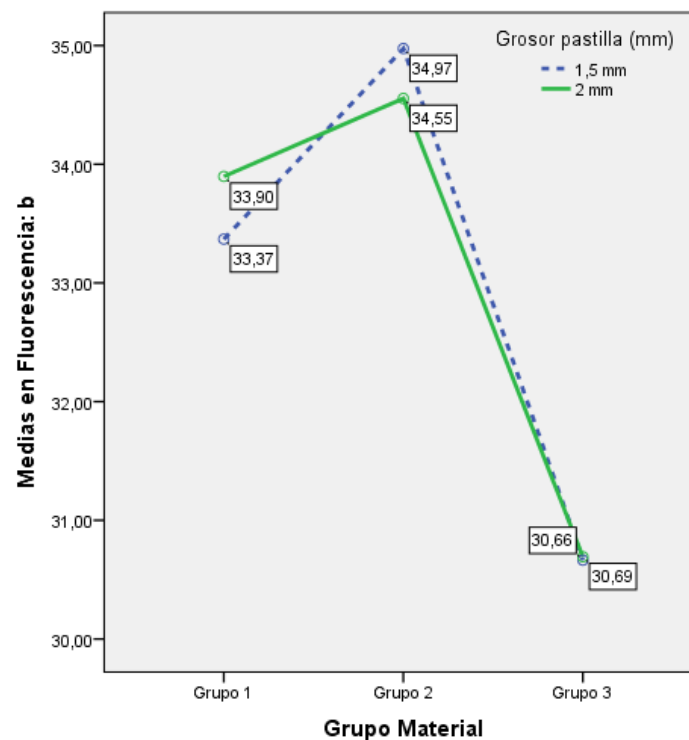


Fig. 51: Fluorescencia. Variable b^* . Medias por tipo de MATERIAL y GROSOR en T180.



6.- Efecto del paso del tiempo ($T180-T0$) en las diferencias entre materiales y grosores.

Siguiendo el mismo plan de trabajo que en la propiedad anterior, se estudió el efecto del tiempo (termociclado) en las diferencias anteriormente analizadas incorporando esta variable como un factor de medidas repetidas (intragrupo).

Primero se realizó el análisis estadístico de cada material por separado con el test T de Student (para muestras relacionadas) junto a su alternativa no-paramétrica T de Wilcoxon para confirmar que la falta de ajuste al modelo normal de algunas de las variables no tuvo consecuencia sobre los resultados. Como en todos los análisis anteriores, se puede comprobar en las tablas que siguen cómo los resultados de todas estas alternativas paramétricas fueron muy semejantes, demostrando la falta de distorsión en el análisis debida a la ausencia de normalidad.

A) Material Grupo 1.

La tabla 18 contiene los resultados de los análisis para este material. En la variable L^* no existieron diferencias estadísticamente significativas ($p > ,05$) debidas al efecto del tiempo, por tanto parece indicar que se mantuvieron los valores iniciales, con una media en torno a 71,7. Sin embargo en las otras variables sí que hubo cambios altamente significativos con $p < ,001$ y un tamaño del efecto muy alto:

- Variable C^* : hubo un aumento en la media de 1,08 puntos desde 32,67 hasta 33,75.
- Variable h^* : se encontró una reducción de 1,40 puntos desde 96,21 hasta 94,81.
- Variable a^* : se observó un aumento aritmético de 1,68 puntos desde -3,52 hasta -2,85.
- Variable b^* : se observó un aumento de 1,16 puntos desde 32,47 hasta 33,63.

Los IC 95% de estos cambios se encuentran en la tabla 18.

Tabla 18: Test de diferencias entre medias. Fluorescencia. Medidas repetidas en T0 y T180, en material Grupo 1.

Variables / Tiempo	N	Media (IC 95%)	D.T.	Diferencia absoluta entre las medias IC al 95%	Prueba T de Student			Test N-P Wilcoxon n p (bilat)	Tamaño efecto
					Valor T	gl	P (bilat)		
L Inicio (T0) En T180	30	71,73 (71,54 ; 71,92) 71,67 (71,54 ; 71,79)	0,52 0,34	0,06 (N.S.)	0,57	29	,572 ^{NS}	,642 ^{NS}	-
C Inicio (T0) En T180	30	32,67 (32,39 ; 32,95) 33,75 (33,37 ; 34,13)	0,75 1,01	1,08 (0,71 – 1,45)	5,98	29	,000**	,000**	0,743
h Inicio (T0) En T180	30	96,21 (96,05 ; 96,36) 94,81 (94,59 ; 95,02)	0,41 0,57	1,40 (1,25 – 1,56)	18,51	29	,000**	,000**	0,960
a Inicio (T0) En T180	30	-3,52 (-3,59 ; -3,46) -2,85 (-2,92 ; -2,77)	0,18 0,20	0,68 (0,63 – 0,72)	30,70	29	,000**	,000**	0,985
b Inicio (T0) En T180	30	32,47 (32,19 ; 32,75) 33,63 (33,25 ; 34,02)	0,76 1,03	1,16 (0,80 – 1,53)	6,49	29	,000**	,000**	0,770

NS = no significativo ($p > ,050$) * Significativo al 5% ** Altamente Significativo al 1%

B) Material Grupo 2.

Los resultados de los test de este grupo se presentan en la tabla 19. Como se puede comprobar, no se encontraron diferencias significativas con $p > ,05$ ni en la variable C^* ni en la variable b^* . Y sí aparecieron en las demás variables, con $p < ,05$, en h° y a^* , y con $p < ,001$ en L^* . Los tamaños del efecto fueron moderados, y solo algo más elevado en L^* . El sentido de las diferencias observadas es el siguiente:

- Variable L^* : hubo un aumento en la media de casi 1 punto desde 74,87 hasta 75,86.
- Variable h° : se observó un aumento de 1,09 puntos desde 99,15 hasta 100,24.
- Variable a^* : se apreció una disminución aritmética de 0,49 puntos desde -5,74 hasta -6,23.

Tabla 19: Test de diferencias entre medias. Fluorescencia. Medidas repetidas en T0 y T180, en material Grupo 2.

Variables / Tiempo	N	Media (IC 95%)	D.T.	Diferencia absoluta entre las medias IC al 95%	Prueba T de Student			Test N-P Wilcoxon n p (bilat)	Tamaño efecto
					Valor T	gl	P (bilat)		
L Inicio (T0) En T180	30	74,87 (74,57 ; 75,18) 75,86 (75,56 ; 76,15)	0,75 0,73	0,99 (0,49 – 1,48)	4,13	25	,000**	,000**	0,637
C Inicio (T0) En T180	30	36,32 (35,77 ; 36,88) 35,33 (34,48 ; 36,18)	1,38 2,11	0,99 (N.S.)	1,67	25	,108 ^{NS}	,086 ^{NS}	-
h Inicio (T0) En T180	30	99,15 (98,69 ; 99,61) 100,24 (99,61 ; 100,88)	1,15 1,57	1,09 (0,09 – 2,09)	2,25	25	,033 *	,029 *	0,410
a Inicio (T0) En T180	30	-5,74 (-5,94 ; -5,55) -6,23 (-6,51 ; -5,96)	0,48 0,68	0,49 (0,06 – 0,92)	2,36	25	,027 *	,035 *	0,427
b Inicio (T0) En T180	30	35,85 (35,26 ; 36,45) 34,76 (33,87 ; 36,55)	1,47 2,21	1,09 (N.S.)	1,72	25	,098 ^{NS}	,084 ^{NS}	-

NS = no significativo ($p > ,050$) * Significativo al 5% ** Altamente Significativo al 1%

C) Material Grupo 3.

En la tabla 20 se resumen los resultados de este tercer tipo de material. En todas las variables se encontraron diferencias que pueden ser consideradas como altamente significativas con $p < ,001$ y con tamaño del efecto moderado, o altos en la mayoría de los casos. En concreto:

- Variable L^* : hubo un aumento de 0,81 unidades desde 77,30 hasta 78,11.
- Variable C^* : hubo un aumento de 5,39 unidades desde 25,67 hasta 31,06.
- Variable h^* : se observó una disminución de 3,08 puntos desde 84,22 hasta 81,14.
- Variable a^* : hubo un incremento de 2,21 puntos desde 2,64 hasta 4,85.
- Variable b^* : también existió un aumento de 5,13 puntos desde 25,53 hasta 30,68.

Tabla 20: Test de diferencias entre medias. Fluorescencia. Medidas repetidas en T0 y T180, en material Grupo 3.

Variables / Tiempo	N	Media (IC 95%)	D.T.	Diferencia absoluta entre las medias IC al 95%	Prueba T de Student		Test N-P Wilcoxon		Tamaño efecto
					Valor T	gl	P (bilat)	n p (bilat)	
L Inicio (T0) En T180	30	77,30 (76,88 ; 77,71) 78,11 (77,70 ; 78,52)	1,11 1,09	0,81 (0,35 – 1,27)	3,64	29	,001**	,001**	0,560
C Inicio (T0) En T180	30	25,67 (24,85 ; 26,50) 31,06 (30,00 ; 32,12)	2,21 2,86	5,39 (4,07 – 6,71)	8,34	29	,000**	,000**	0,840
h Inicio (T0) En T180	30	84,22 (83,71 ; 84,72) 81,14 (80,58 ; 81,70)	1,34 1,50	3,08 (2,38 – 3,77)	9,02	29	,000**	,000**	0,859
a Inicio (T0) En T180	30	2,64 (2,35 ; 2,93) 4,85 (4,36 ; 5,35)	0,79 1,32	2,21 (1,67 – 2,75)	8,38	29	,000**	,000**	0,841
b Inicio (T0) En T180	30	25,53 (24,73 ; 26,34) 30,68 (29,68 ; 31,68)	2,15 2,68	5,13 (3,89 – 6,40)	8,40	29	,000**	,000**	0,842

NS = no significativo ($p > ,050$) * Significativo al 5% ** Altamente Significativo al 1%

Para completar el análisis de estas diferencias en función del tiempo, desde la perspectiva multivariante se incorporó el tipo de material y el grosor como factores de tipo intergrupo, aunque como se ha visto, el grosor no tuvo significación en el T final (T180) y apenas la presentó, por leve, en el T inicial (T0). Como en la propiedad anterior se utilizó un ANOVA mixto con 3 factores, centrando la atención en las interacciones (ver tabla 21). A continuación se comentan solo las interacciones (ver figs. 52-61) puesto que los efectos principales de los factores ya se conocen.

- Variable L^* : en el material del Grupo 1 no hubo cambios en el tiempo, pero sí que los hubo en los grupos 2 y 3, lo que refleja una interacción tiempo/material altamente significativa aunque con tamaño del efecto bajo. Por el contrario la interacción tiempo/grosor no fue significativa, aunque por escaso margen, pero la variación que se acaba de comentar fue relativamente similar en las muestras de ambos grosores (ver figs. 52 y 53).
- Variable C^* : la interacción de material / tiempo fue altamente significativa (con $p < ,001$) por lo que los cambios observados en el tiempo fueron diferentes en los tres tipos de materiales (ver figs. 54 y 55); en el Grupo 1 se observó un ligero aumento en los valores medios, en tanto que en el Grupo 3 este aumento fue mucho más evidente. Por el contrario, en el Grupo 2 hubo un descenso aunque no demasiado grande. La interacción con el grosor no alcanzó significación aunque fuese poco, por lo que las variaciones comentadas fueron semejantes en ambos grosores, como se aprecia en las figuras.
- Variable h^* : de nuevo la interacción del tiempo con el tipo de material fue altamente significativa y por ello las diferencias observadas en el tiempo fueron distintas en función del material empleado. Como se observa en las figs. 56 y 57, mientras que en los grupos 1 y 3 la variable disminuyó, en el Grupo 2, por el contrario, aumentó. Como ocurrió en las variables anteriores, la interacción con el grosor no fue significativa, por lo que el cambio comentado fue muy similar en ambos grupos de grosores.
- Variable a^* : una vez más, puesto que la interacción del tiempo con el grosor no tuvo significación, los cambios que se observaron y se van a comentar fueron muy similares en las muestras de ambos grosores. La interacción tiempo/material volvió

a ser altamente significativa ($p < ,001$) y en las figs. 58 y 59, se aprecia que mientras que en el Grupo 2 hubo un ligero descenso, en los grupos 1 y 3 aumentaron los valores, pero es especialmente en el Grupo 3 donde este incremento fue notable.

- Variable b^* : como en todas las anteriores la interacción tiempo/material fue altamente significativa de modo que los cambios en el tiempo difirieron en los tres grupos de materiales mientras que la interacción con el grosor no lo fue, aunque de nuevo por escaso margen. Como se observa en las figs. 60 y 61, las diferencias que había entre los material en T0 se acortaron mucho al llegar a T180; y ello se debió a que mientras que en el Grupo 2 los valores disminuyeron, en los otros dos grupos aumentaron, no demasiado en el Grupo 1 pero sí muy llamativamente en el Grupo 3, en especial en las pastillas de 1,5 mm de grosor, de ahí que casi apareciese significación tiempo/grosor.

Tabla 21: ANOVA mixto de 3 factores: 1 de medidas repetidas + 2 intergrupo.
Significación de los efectos del TIEMPO, del MATERIAL y del GROSOR sobre la Fluorescencia.

Variable / FACTOR	Grupos / N	Medias	F	gl	p	Eta ² parcial	Potencia
L* Grupo Material	3 / 30-26-30	G1: 71,70 ; G2: 75,37 ; G3: 77,70	1062,53	2 ; 80	,000**	,964	>,999
Grosor	2 / 43	1,5mm: 74,68 ; 2mm: 75,16	19,34	1 ; 80	,000**	,195	,991
Tiempo (MR)	2 / 43	T0: 74,63 ; T180: 75,21	26,82	1 ; 80	,000**	,251	,999
Interacción Tiempo / Material	6 / 15-15-13-13-15-15	(Ver fig. 52 y 53)	8,57	2 ; 80	,000**	,176	,962
Interacción Tiempo / Grosor	6 / 15-15-13-13-15-15	(Ver fig. 52 y 53)	3,15	1 ; 80	,080 ^{NS}	-	-
C* Grupo Material	3 / 30-26-30	G1: 33,21 ; G2: 35,82 ; G3: 28,37	273,51	2 ; 80	,000**	,872	>,999
Grosor	2 / 43	1,5mm: 32,16 ; 2mm: 32,78	5,61	1 ; 80	,020 *	,066	,648
Tiempo (MR)	2 / 43	T0: 31,56 ; T180: 33,38	40,39	1 ; 80	,000**	,336	>,999
Interacción Tiempo / Material	6 / 15-15-13-13-15-15	(Ver fig. 54 y 55)	42,75	2 ; 80	,000**	,517	>,999
Interacción Tiempo / Grosor	6 / 15-15-13-13-15-15	(Ver fig. 54 y 55)	3,61	1 ; 80	,061 ^{NS}	-	-
h° Grupo Material	3 / 30-26-30	G1: 95,51 ; G2: 99,70 ; G3: 82,68	4903,02	2 ; 80	,000**	,992	>,999
Grosor	2 / 43	1,5mm: 92,87 ; 2mm: 92,39	10,73	1 ; 80	,002**	,118	,899
Tiempo (MR)	2 / 43	T0: 93,19 ; T180: 90,06	35,99	1 ; 80	,000**	,310	>,999
Interacción Tiempo / Material	6 / 15-15-13-13-15-15	(Ver fig. 56 y 57)	40,15	2 ; 80	,000*	,501	>,999
Interacción Tiempo / Grosor	6 / 15-15-13-13-15-15	(Ver fig. 56 y 57)	2,75	1 ; 80	,101 ^{NS}	-	-
a* Grupo Material	3 / 30-26-30	G1: -3,18 ; G2: -5,99 ; G3: 3,75	3226,57	2 ; 80	,000**	,988	>,999
Grosor	2 / 43	1,5mm: -1,94 ; 2mm: -1,67	7,01	1 ; 80	,010 *	,081	,744
Tiempo (MR)	2 / 43	T0: -2,21 ; T180: -1,41	52,11	1 ; 80	,000**	,394	>,999
Interacción Tiempo / Material	6 / 15-15-13-13-15-15	(Ver fig. 58 y 59)	48,99	2 ; 80	,000**	,551	>,999
Interacción Tiempo / Grosor	6 / 15-15-13-13-15-15	(Ver fig. 58 y 59)	2,14	1 ; 80	,147 ^{NS}	-	-
b* Grupo Material	3 / 30-26-30	G1: 33,05 ; G2: 35,31 ; G3: 28,11	273,67	1 ; 80	,000**	,872	>,999
Grosor	2 / 43	1,5mm: 31,86 ; 2mm: 32,45	5,32	2 ; 80	,024 *	,062	,625
Tiempo (MR)	2 / 43	T0: 31,29 ; T180: 33,02	37,29	1 ; 80	,000**	,318	>,999
Interacción Tiempo / Material	6 / 15-15-13-13-15-15	(Ver fig. 60 y 61)	40,59	2 ; 80	,000**	,504	>,999
Interacción Tiempo / Grosor	6 / 15-15-13-13-15-15	(Ver fig. 60 y 61)	3,68	1 ; 80	,059 ^{NS}	-	-

NS = no significativo (p>,050) * Significativo al 5% ** Altamente Significativo a 1%

Fig. 52: Fluorescencia. Cambio en el TIEMPO de la variable L^* , para el GROSOR 1,5 mm, según tipo de MATERIAL.

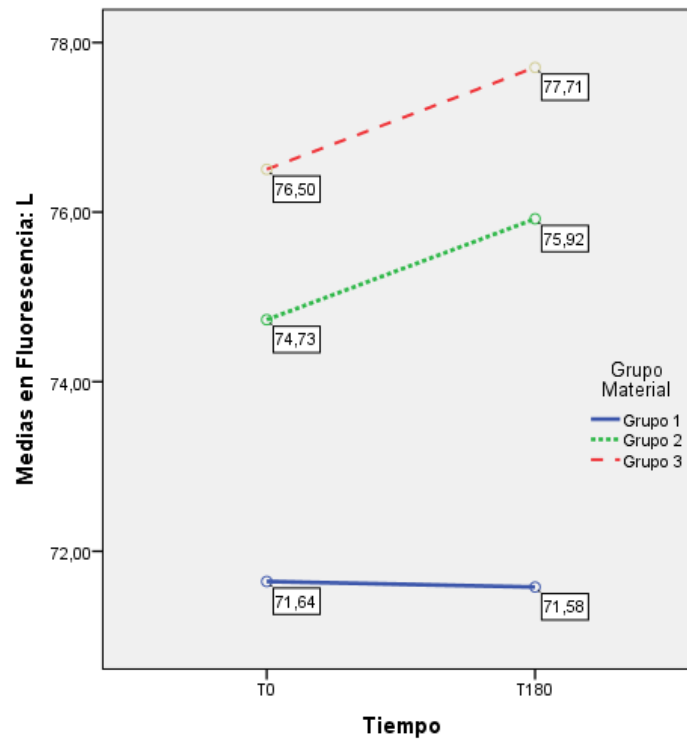


Fig. 53: Fluorescencia. Cambio en el TIEMPO de la variable L^* , para el GROSOR 2 mm, según tipo de MATERIAL.

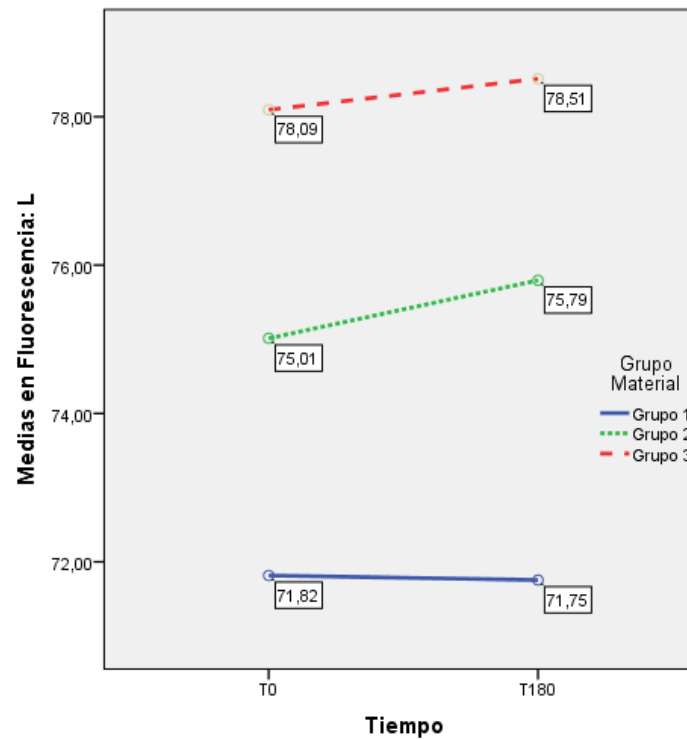


Fig. 54: Fluorescencia. Cambio en el TIEMPO de la variable C^* , para el GROSOR 1,5 mm, según tipo de MATERIAL.

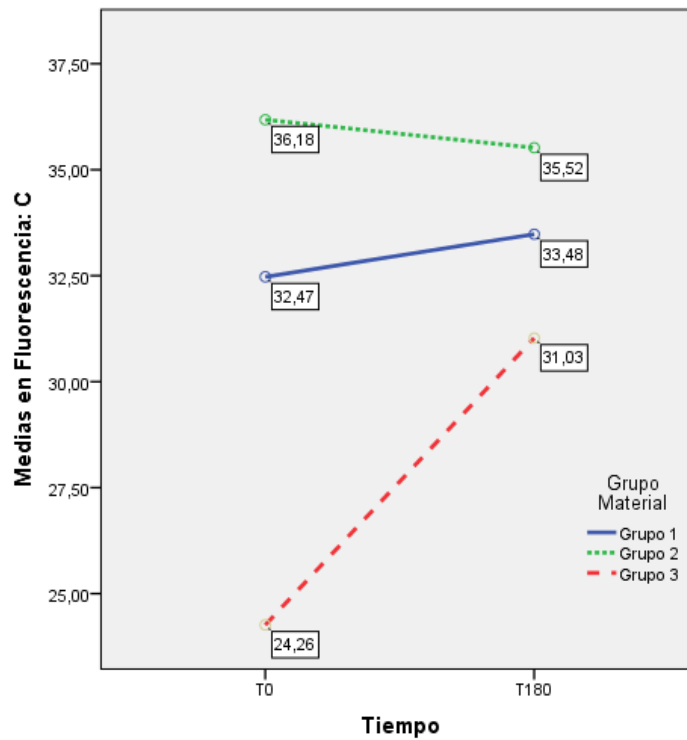


Fig. 55: Fluorescencia. Cambio en el TIEMPO de la variable C^* , para el GROSOR 2 mm, según tipo de MATERIAL.

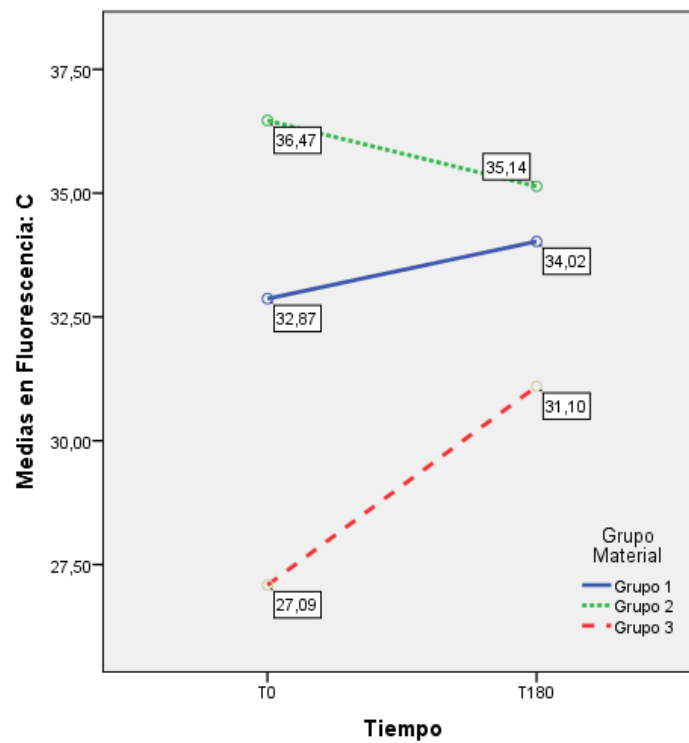


Fig. 56: Fluorescencia. Cambio en el TIEMPO de la variable h° , para el GROSOR 1,5 mm, según tipo de MATERIAL.

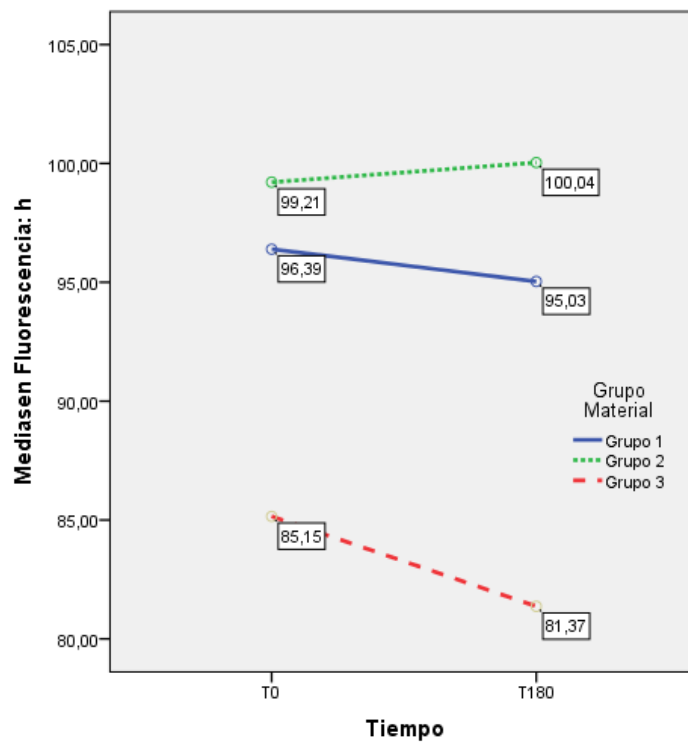


Fig. 57: Fluorescencia. Cambio en el TIEMPO de la variable h° , para el GROSOR 2 mm, según tipo de MATERIAL.

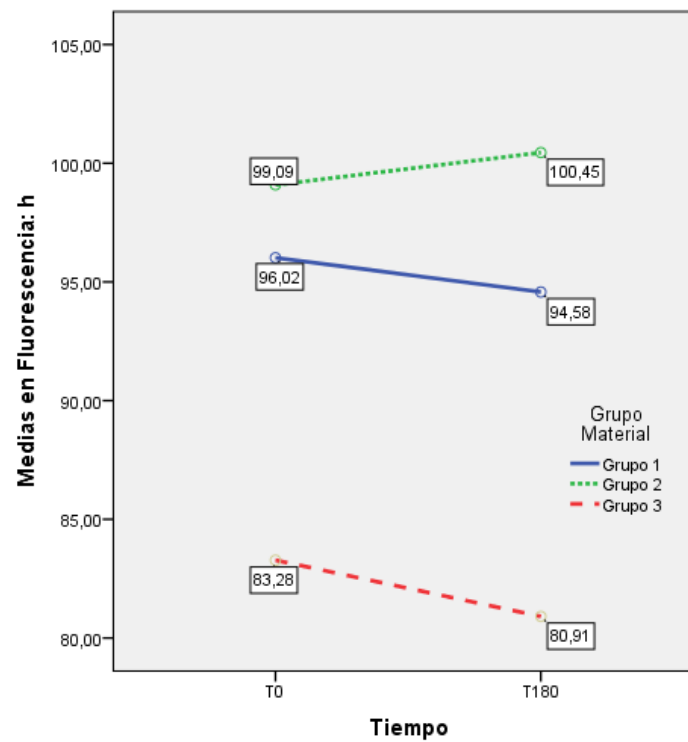


Fig. 58: Fluorescencia. Cambio en el TIEMPO de la variable a^* , para el GROSOR 1,5 mm, según tipo de MATERIAL.

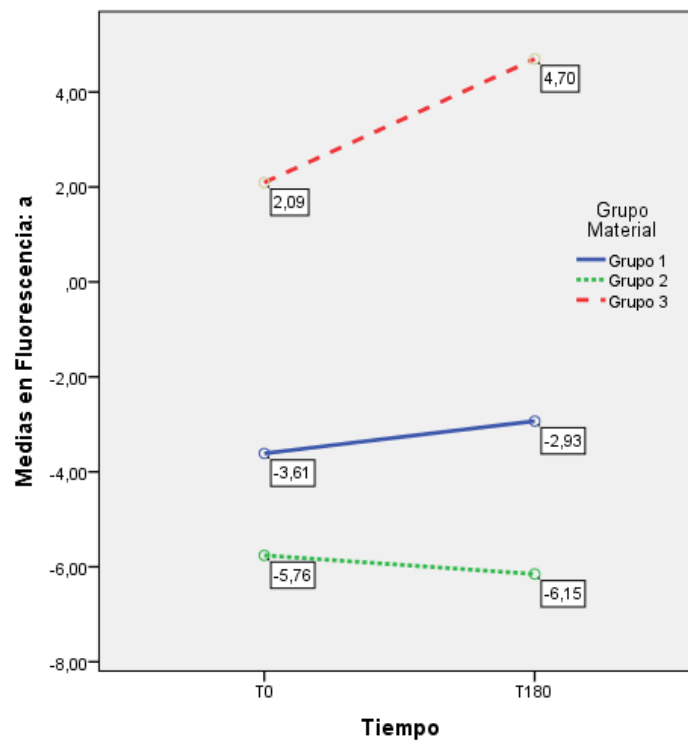


Fig. 59: Fluorescencia. Cambio en el TIEMPO de la variable a^* , para el GROSOR 2 mm, según tipo de MATERIAL.

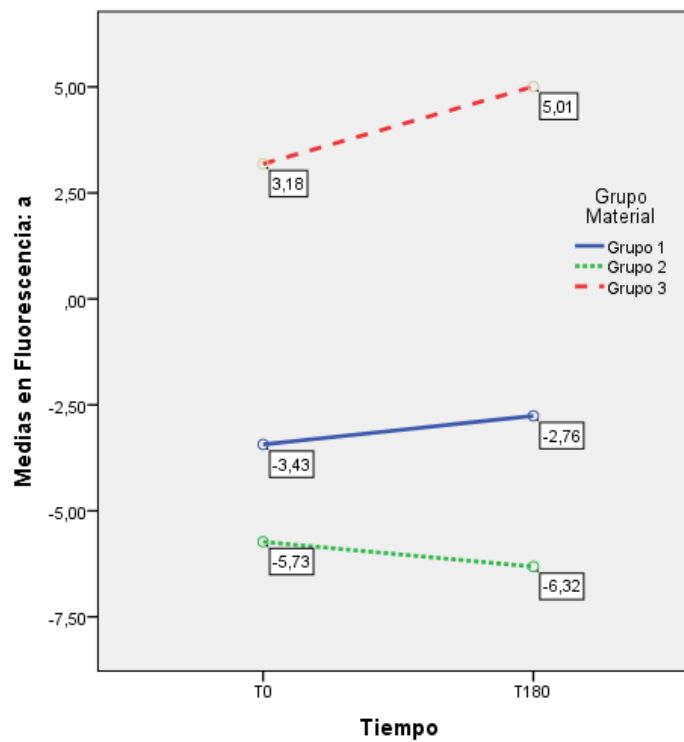


Fig. 60: Fluorescencia. Cambio en el TIEMPO de la variable b^* , para el GROSOR 1,5 mm, según tipo de MATERIAL.

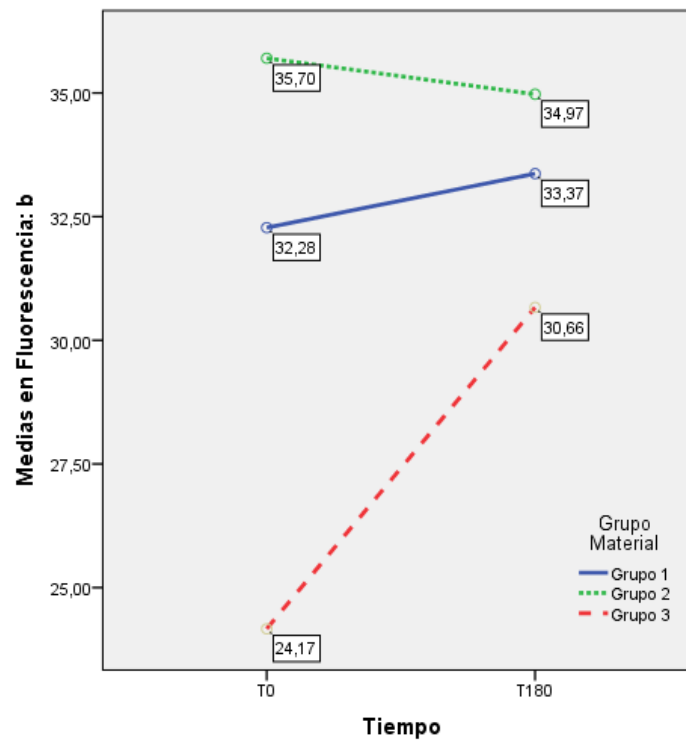
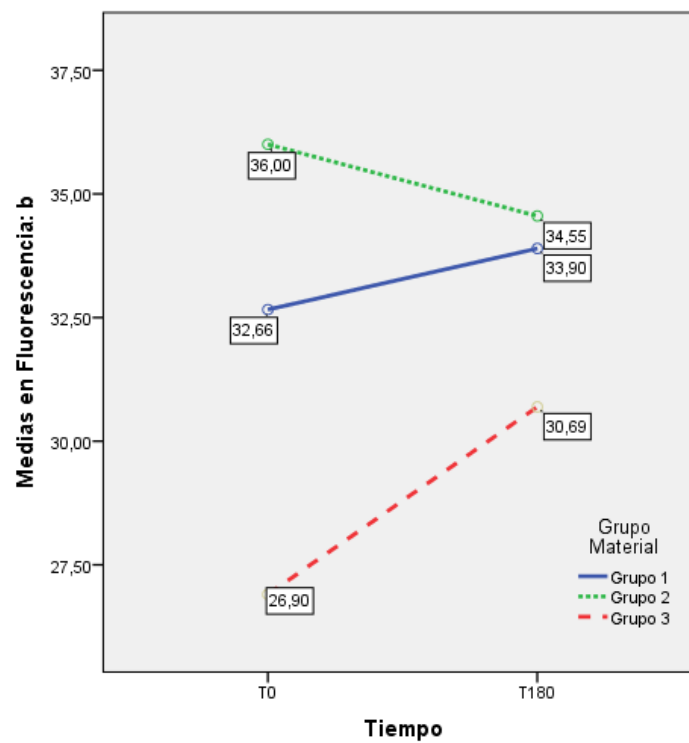


Fig. 61: Fluorescencia. Cambio en el TIEMPO de la variable b^* , para el GROSOR 2 mm, según tipo de MATERIAL.



7.- Estudio del ΔE^* :

Se continuó el estudio de la fluorescencia calculando la variable ΔE^* a partir de la expresión:

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{[(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]}$$

Los valores de ΔL^* , Δa^* , Δb^* para esta fórmula se obtuvieron a partir de las medias aritméticas de los valores medidos con el espectrofotómetro para L^* , a^* y b^* en cada tiempo de medida (T0 y T180). Los datos hallados con este instrumento de medida están plasmados en las tablas excel que figuran en el anexo de Fluorescencia Grupo 1, Grupo 2 y Grupo 3.

En esta ocasión, la variable ΔE^* se distribuyó para la muestra válida de 86 pastillas. No se pudo estudiar para la muestra completa de 90 pastillas porque 4 pastillas del Grupo 2 tuvieron que ser descartadas para el estudio de la fluorescencia porque sus datos estaban completamente fuera de rango, probablemente debido a un error en la calibración del instrumento de medida (ver en el anexo la tabla de Fluorescencia del Grupo 2). Las muestras 2.3, 2.4, 1,5.3 y 1,5.4, que presentan valores encasillados en color rojo, fueron las muestras descartadas para este estudio. En esta ocasión, por tanto, hubo 30 pastillas del Grupo 1, 26 pastillas del Grupo 2 y 30 pastillas del Grupo 3.

Los valores obtenidos en esta variable ΔE^* se distribuyeron en el rango: 0,66 a 16,20 (mediana: 2,35) con una media de $3,60 \pm$ d.t. 2,98 (IC para la media al 95%: 2,96 – 4,24) que fue significativa con $p < ,001$ ($T=11,21$; 85 gl, $p=,000$). Tuvo unos valores de asimetría y curtosis muy alejados de la normalidad, por lo que según el test de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov con $p < ,01$ ($p=,001$) se confirmó un desvío altamente significativo con respecto al modelo de la curva normal de Gauss.

El contraste del efecto del tipo de material y del grosor sobre este ΔE^* se realizó de nuevo con un ANOVA de 2 factores de efectos fijos, cuyos resultados se resumen en la tabla 22 y se representan en la fig. 62.

Los resultados mostraron una clara diferencia altamente significativa ($p < ,001$) en función del tipo de material, siendo el incremento mucho mayor en el Grupo 3 que en los otros dos, y mayor en el Grupo 2 que en el Grupo 1. Por su parte, el grosor no

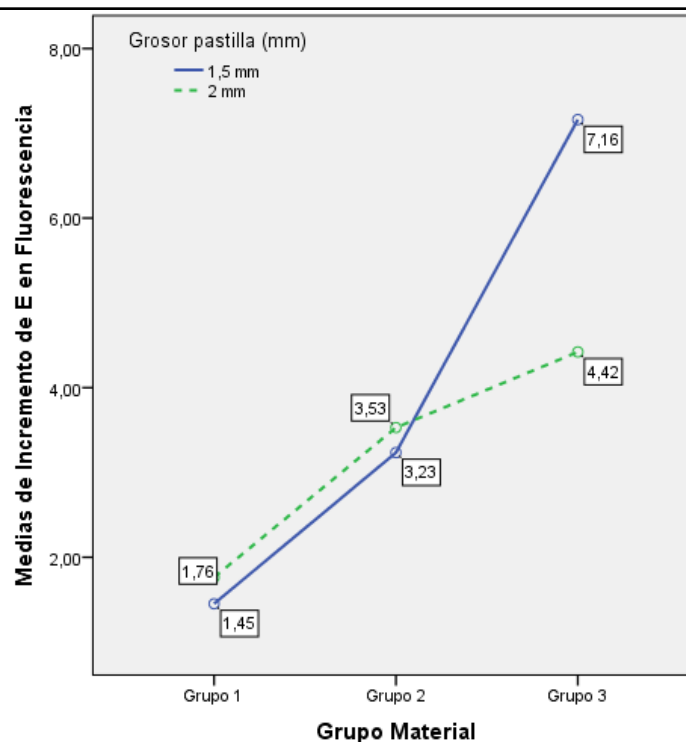
añadió efecto significativo, pero la interacción entre ambos factores sí (con $p < ,05$), de forma que como se observa en la fig. 62, mientras que en los grupos 1 y 2 ambos grosores presentaron valores de ΔE^* similares, en el Grupo 3, la media de las muestras de 1,5 mm fue mucho más alta que la media del grosor de 2 mm.

Tabla 22: ANOVA de 2 factores. Significación de los efectos del MATERIAL y el GROSOR sobre el ΔE^* de Fluorescencia.

Variable / FACTOR	Grupos / N	Medias	F	g.l	p	Eta ² parcial	Potencia
ΔE^* Grupo Material	3 / 30-26-30	G1: 1,61 ; G2: 3,38 ; G3: 5,79	24,42	2 ; 80	,000**	,379	>,999
Grosor	2 / 43	1,5mm: 3,95 ; 2mm: 3,24	1,99	1 ; 80	,161 ^{NS}	-	-
Interacción Grosor / Material	6 / 15-15-13-13-15-15	(Ver fig. 62)	4,18	2 ; 80	,019 *	,095	,720

NS = no significativo ($p > ,050$) * Significativo al 5% ** Altamente Significativo a 1%

Fig. 62: Fluorescencia. Variable ΔE^* . Medias por tipo de MATERIAL y GROSOR.



8.- Análisis de la variabilidad.

Para finalizar con esta propiedad, tal y como ya ocurrió en el estudio de la anterior, se observaron diferencias en la variabilidad (homogeneidad o semejanza intragrupo entre unas pastillas y otras del mismo grupo) que resultó interesante analizar. Conviene

recordar que la coincidencia de resultados en los análisis anteriores entre las pruebas paramétricas y los test alternativos no-paramétricos, indica que esta cuestión no ha tenido trascendencia en la comparación de las medias.

Se empleó el test de Levene de verificación de la igualdad entre varianzas (homocedasticidad) con cada una de las variables (ver tablas 23 y 24).

En la tabla 23 se analizó la situación en el momento de medida inicial (T0), encontrándose diferencias altamente significativas ($p < ,001$) en todas las variables:

- Variable L^* : las pastillas del material de Grupo 3 fueron significativamente menos homogéneas entre sí que las pastillas del material de los otros dos grupos, que entre sí no difirieron ($p > ,05$).
- Variable C^* : como en la anterior, la significación apareció en el Grupo 3 con respecto a los otros, siendo más disperso el 3, y las muestras de los grupos 1 y 2 más semejantes internamente. No hubo diferencias entre ambos grupos.
- Variable h° : en este caso, fueron las muestras del Grupo 1 las que presentaron más homogeneidad interna ($p < ,01$) que las de los grupos 2 y 3, que entre sí no se diferenciaron significativamente ($p > ,05$).
- Variable σ^* : de forma parecida a la anterior, en el Grupo 1 se observó mayor homogeneidad entre las pastillas comparado con las de los grupos 2 y 3; pero esta vez, entre estos dos también hubo significación ($p < ,05$), siendo las del Grupo 3 las más heterogéneas.
- Variable b^* : la varianza fue menor en el Grupo 1 ($p < ,05$) que en los grupos 2 y 3; y además también lo fue en el Grupo 2 con respecto al Grupo 3 ($p > ,001$), de modo que de nuevo fue en este último dónde se apreció más dispersión.

En el análisis con los valores en T180 (ver tabla 24), se observó que en todas las variables los valores de las muestras del material del Grupo 3 tuvieron una variabilidad interna significativamente más alta (con $p < ,001$ o al menos $p < ,01$) que las de los grupos 1 y 2, quienes entre sí no presentaron diferencias significativas ($p > ,05$), con excepción de la variable σ^* donde sí lo hicieron con $p < ,05$ debido a que los valores del Grupo 1 fueron extremadamente semejantes entre sí.

Tabla 23: Test de homocedasticidad. Comparación de variabilidad intragrupo en T0.

Variable / Material	N	Varianza	Test de Levene						
			Valor	gl	P-sig	Par	Valor	P-sig	
L*	Grupo 1	30	0,26				G1 – G2	0,05	,891 ^{NS}
	Grupo 2	26	0,57	7,98	2 ; 83	,001**	G1 – G3	14,96	,000**
	Grupo 3	30	1,24				G2 – G3	7,67	,008**
C*	Grupo 1	30	0,56				G1 – G2	3,08	,085 ^{NS}
	Grupo 2	26	1,90	11,86	2 ; 83	,000**	G1 – G3	22,95	,000**
	Grupo 3	30	4,89				G2 – G3	7,29	,009**
h°	Grupo 1	30	0,17				G1 – G2	7,77	,007**
	Grupo 2	26	1,32	8,42	2 ; 83	,000**	G1 – G3	21,06	,000**
	Grupo 3	30	1,80				G2 – G3	1,50	,226 ^{NS}
a*	Grupo 1	30	0,03				G1 – G2	9,15	,004**
	Grupo 2	26	0,23	15,47	2 ; 83	,000**	G1 – G3	30,81	,000**
	Grupo 3	30	0,62				G2 – G3	6,66	,013 *
b*	Grupo 1	30	0,58				G1 – G2	3,98	,044 *
	Grupo 2	26	2,16	10,19	2 ; 83	,000**	G1 – G3	21,48	,000**
	Grupo 3	30	4,62				G2 – G3	5,25	,026 *

NS = no significativo (p>,050) * Significativo al 5% ** Altamente Significativo al 1%

Tabla 24: Test de homocedasticidad. Comparación de variabilidad intragrupo en T180.

Variable / Material	N	Varianza	Test de Levene						
			Valor	gl	P-sig	Par	Valor	P-sig	
L*	Grupo 1	30	0,12				G1 – G2	11,01	,002**
	Grupo 2	26	0,53	8,32	2 ; 83	,001**	G1 – G3	15,07	,000**
	Grupo 3	30	1,19				G2 – G3	2,06	,157 ^{NS}
C*	Grupo 1	30	1,02				G1 – G2	10,64	,002**
	Grupo 2	26	4,45	9,55	2 ; 83	,000**	G1 – G3	18,68	,000**
	Grupo 3	30	8,18				G2 – G3	2,07	,156 ^{NS}
h°	Grupo 1	30	0,32				G1 – G2	21,67	,000**
	Grupo 2	26	2,46	10,72	2 ; 83	,000**	G1 – G3	17,55	,000**
	Grupo 3	30	2,25				G2 – G3	0,13	,718 ^{NS}
a*	Grupo 1	30	0,04				G1 – G2	26,82	,000**
	Grupo 2	26	0,46	18,26	2 ; 83	,000**	G1 – G3	30,16	,000**
	Grupo 3	30	1,74				G2 – G3	6,53	,013 *
b*	Grupo 1	30	1,06				G1 – G2	12,19	,001**
	Grupo 2	26	4,88	8,59	2 ; 83	,000**	G1 – G3	16,91	,000**
	Grupo 3	30	7,18				G2 – G3	0,82	,370 ^{NS}

NS = no significativo (p>,050) * Significativo al 5% ** Altamente Significativo al 1%

DUREZA

1.- Análisis exploratorio y descriptivo previo

Como en los estudios de las dos partes anteriores, se dispuso de 90 pastillas (N=90), 30 de cada material, 15 de cada grosor y todas ellas fueron medidas en dos momentos temporales: al inicio (T0) y después de someter las muestras a un proceso de envejecimiento artificial acelerado (T180). Cada ejemplar fue medido de manera individual en la máquina de ensayos universal de Euro Ortodoncia. Se utilizó un punzón de dureza Knoop para realizar una huella en el centro de una de las superficies de cada probeta, a 1 mm de uno de los bordes. Esa huella con forma de rombo se observó después al microscopio para poder medir la diagonal mayor de la huella, d , y calcular posteriormente el valor de KHN, tal y como quedó detallado en el apartado de material y método. La exigua nitidez de tres huellas hizo imposible su medición en T180. Por consiguiente, en la parte comparativa no siempre tendremos el N total.

Se comenzó por realizar el habitual análisis exploratorio y descriptivo de la variable HK-Knoop prestando atención a la existencia, o no, de valores extremos (*“outliers far out”*) y al ajuste al modelo de la normal de Gauss con el test de K-S, dado que el número de valores era amplio (>50).

No se encontraron valores extremos fuera de rango en ninguna de las dos variables. En cuanto al ajuste al modelo de curva normal, en la medida realizada en T0 se observó una clara asimetría negativa, es decir con acumulación de valores en la parte inferior de la escala, lo que tuvo como consecuencia un desvío altamente significativo con $p < ,001$ en el test K-S con relación al citado modelo normal. En cambio en la medida realizada en T180 se observó una distribución más repartida a lo largo de la escala de valores, con una evidente tendencia hacia la normalidad que vino refrendada por un buen ajuste (diferencia no significativa; $p > ,05$ en el test K-S) con respecto a la campana de Gauss. Ante este hecho que afectó a la medida en T0, en el contraste de las medias además de los análisis con técnicas estadísticas paramétricas, se prestó atención al resultado que se alcanzó con las alternativas no paramétricas. La tabla 25 que sigue contiene los estadísticos descriptivos de esta variable analizada en ambos momentos temporales.

Tabla 25: Análisis descriptivo y exploratorio.

Dureza en T0 y T180.

Variable	HK – Dureza Knoop		
	T0	T180	
Momento de medida			
N válido	90	87	
Media	16,3481	17,6503	
IC 95%	L.Infer	15,5885	16,9623
	L.Sup	17,1078	18,3383
Mediana	14,4893	17,4062	
Mínimo	12,2666	12,8419	
Máximo	24,8139	25,2102	
Desv. Típica	3,6271	3,2281	
Rec. Intercuartil	6,8911	5,2242	
Asimetría	0,5469	0,2958	
Curtosis	-1,1981	-0,8038	
p-valor (test K-S)	,000**	,169 ^{NS}	

NS = no significativo ($p > ,050$) * Significativo al 5%
 desvío leve ** Altamente Significativo al 1%
 desvío grave

2.- Diferencia entre materiales en origen (T0).

Se compararon los valores en T0 de KHN con intención de determinar si hubo diferencias en origen. Se continuó empleando, como en los apartados anteriores del estudio, el Análisis de Varianza (ANOVA) de un factor de efectos fijos acompañado de un test de contraste múltiple a posterior, en concreto se empleó el HSD de Tukey y como medio de comprobación de sus resultados las alternativas no paramétricas: H de Kruskal-Wallis y U de Mann-Whitney cuando fue necesario. No obstante, dado el tamaño de muestral y la experiencia en los resultados de las partes anteriores, era de esperar que la ausencia de normalidad no fuese un problema que implicase variación en la presencia/ausencia de significación (ver tabla 26).

Como se aprecia en ella, se encontraron diferencias altamente significativas con $p < ,000$ debidas al efecto del tipo de material empleado en la confección de las muestras (tamaño del efecto alto y muy elevada potencia); significación verificada tanto con el test paramétrico como con su alternativa no-paramétrica. En las comparaciones por pares, todas las diferencias fueron altamente significativas, por lo que se pudo establecer una relación ordinal (ver fig. 63) tal que: la media del material

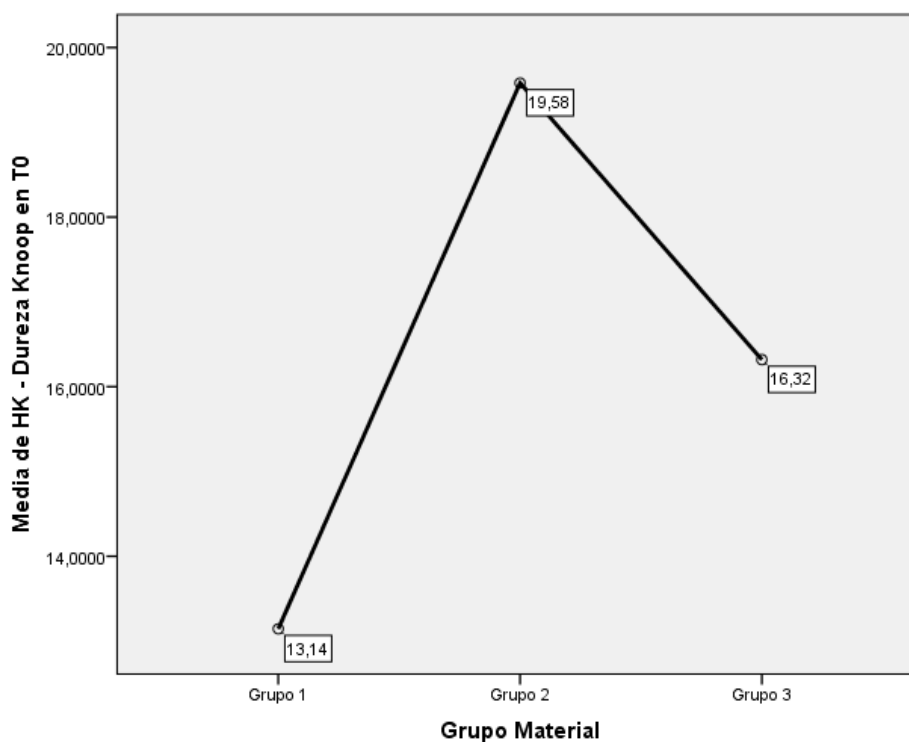
del Grupo 2 (19,58) fue mayor que la media del Grupo 3 (16,32) y ambas fueron significativamente mayores que la del Grupo 1 (13,14).

Tabla 26: Test de diferencia de medias. Variable de Dureza-Knoop, según tipo de Material, en T0

Variable / Material	N	Media (IC 95%)	D.T.	Anova 1 factor			Tamaño efecto	Potencia	POST-HOC: Tukey Pares significativos	Test K-W P-sig
				Valor F	gl	P-sig				
HK										
Grupo 1	30	13,14 (12,99 ; 13,30)	0,41							
Grupo 2	30	19,58 (18,65 ; 20,52)	2,50	49,24	2 ; 87	,000**	,531	>,999	G2 > G3 p=,000** G2 > G1 p=,000** G3 > G1 p=,000**	,000**
Grupo 3	30	16,32 (15,00 ; 17,64)	3,53							

NS = no significativo (p>,050) * Significativo al 5% ** Altamente Significativo al 1%

Fig. 63: Dureza. Variable HK-Knoop. Medias por tipo de MATERIAL en T0.



3.- Diferencia entre materiales después del termociclado (T180).

Se repitió el análisis con los valores obtenidos después del termociclado de los materiales (T180) (ver tabla 27). De nuevo se encontraron diferencias altamente significativas con $p < ,000$, tanto en el test paramétrico como en el no-paramétrico, debidas al tipo de material empleado en las muestras, con tamaño del efecto moderado, menor al anterior, y potencia que siguió siendo muy elevada. En las comparaciones por pares, todas las diferencias fueron significativas aunque el margen entre dos de las medias se redujo. Se mantuvo la misma relación ordinal que en T0 (ver fig. 64), donde: la media del Grupo 2 (19,92) fue mayor que la media del Grupo 3 (18,02) aunque únicamente con $p < ,05$; y ambas continuaron siendo significativamente mayores con $p < ,001$ que la del Grupo 1 (15,07).

Tabla 27: Test de diferencia de medias. Variable de Dureza-Knoop, según tipo de Material, en T180.

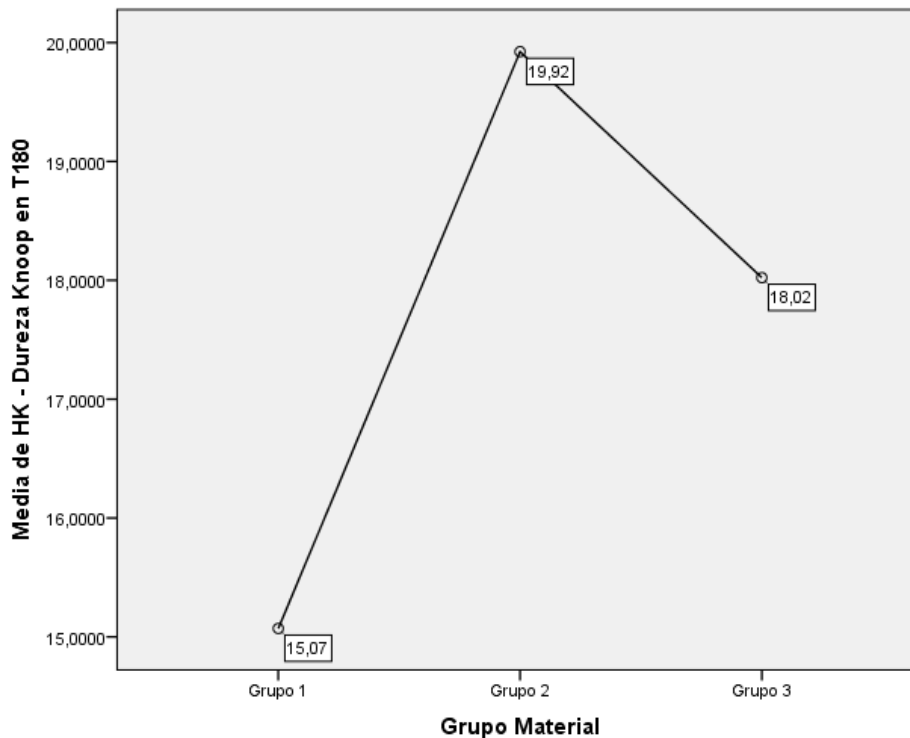
Variable / Material	N	Media (IC 95%)	D.T.	Anova 1 factor			Tamaño efecto	Potencia	POST-HOC: Tukey Pares significativos	Test K-W P-sig
				Valor F	gl	P-sig				
HK										
Grupo 1	29	15,07 (14,19 ; 15,95)	2,31							
Grupo 2	28	19,92 (18,93 ; 20,92)	2,57	25,90	2 ; 84	,000**	,381	>,999	G2 > G3 $p = ,017$ * G2 > G1 $p = ,000$ ** G3 > G1 $p = ,000$ **	,000**
Grupo 3	30	18,02 (16,98 ; 19,07)	2,80							

NS = no significativo ($p > ,050$)

* Significativo al 5%

** Altamente Significativo al 1%

Fig. 64: Dureza. Variable **HK-Knoop**. Medias por tipo de MATERIAL en T180.



4.- Diferencia entre materiales y grosor en origen (T0).

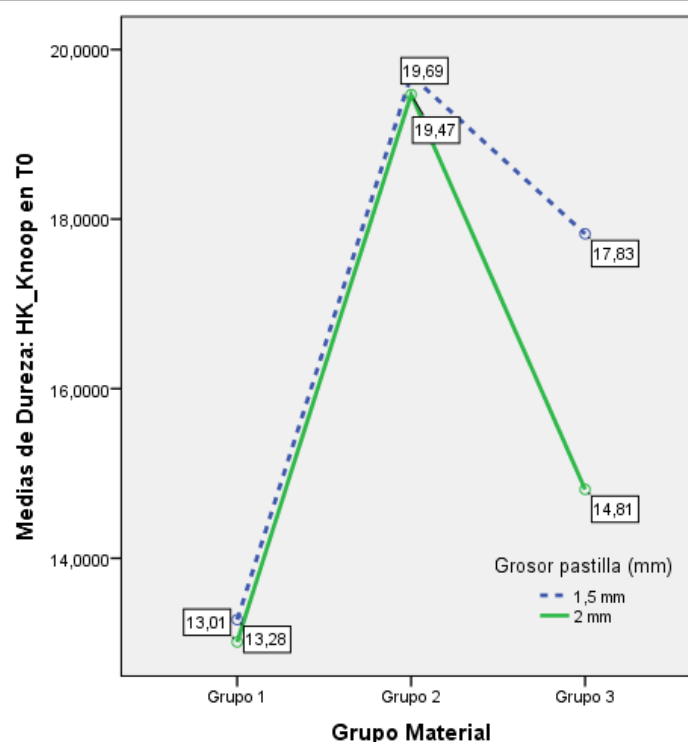
Tras comprobar en T0 la existencia de diferencias significativas, se añadió como segundo factor de posible efecto el grosor de las pastillas. Tal y como se hizo en las dos primeras partes del estudio, se analizó esto con un ANOVA de 2 factores (ver tabla 28). El efecto del material ya se conocía y a él se añadieron las diferencias en función del grosor, con un efecto significativo ($p < ,05$), pero muy bajo tamaño del efecto. Tales diferencias indicaron que la media era más alta cuando la pastilla era de 1,5 mm de grosor, independientemente del tipo de material. Así mismo, la interacción de factores también aportó significación con $p < ,05$ y también con un tamaño del efecto bajo. Según se aprecia en la figura 65, mientras que en los materiales de los grupos 1 y 2 la diferencia entre grosores fue muy pequeña, casi inapreciable, en el caso del Grupo 3 hubo una notable diferencia tal que la media de las pastillas de 1,5 mm fue claramente mayor que la media de las pastillas de 2 mm de grosor. Por tanto, según esta interacción, es evidente que la diferencia entre grosores solo se presentó en el Grupo 3.

Tabla 28: ANOVA de 2 factores. Significación de los efectos del MATERIAL y el GROSOR sobre la Dureza HK, en T0.

Variable / FACTOR	Grupos / N	Medias	F	g.l	p	Eta ² parcial	Potencia
HK Grupo Material	3 / 30	G1: 13,14 ; G2: 19,58 ; G3: 16,32	54,38	2 ; 84	,000**	,564	>,999
Grosor	2 / 45	1,5mm: 16,93 ; 2mm: 15,76	5,36	1 ; 84	,023 *	,060	,629
Interacción Grosor / Material	6 / 15	(Ver fig. 65)	3,36	2 ; 84	,040 *	,074	,619

NS = no significativo ($p > ,050$) * Significativo al 5% ** Altamente Significativo a 1%

Fig. 65: Dureza. Variable HK-Knoop. Medias por tipo de MATERIAL y GROSOR en T0.



5.- Diferencia entre materiales y grosor después del termociclado (T180).

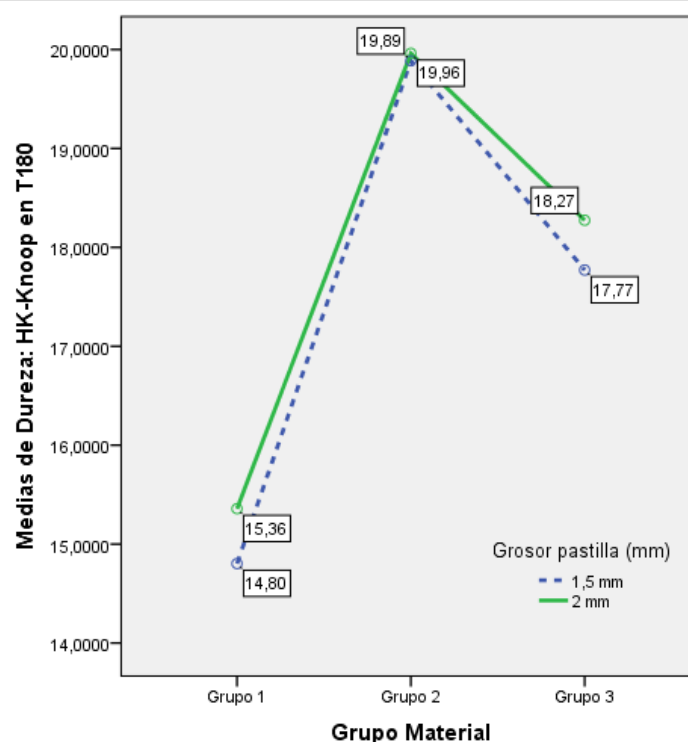
En este caso, continuaron existiendo las diferencias ya conocidas entre los tres materiales, pero, ni el grosor ni la interacción material-grosor añadieron efecto diferencial alguno ($p > ,05$), es decir, las diferencias antes observadas fueron independientes del grosor, desapareciendo la diferencia que había en T0 entre los grosores 1,5 y 2 mm del material del Grupo 3. (Ver tabla 29 y fig. 66).

Tabla 29: ANOVA de 2 factores. Significación de los efectos del MATERIAL y el GROSOR sobre la Dureza HK, en T180.

Variable / FACTOR	Grupos / N	Medias	F	g.l	p	Eta ² parcial	Potencia
HK Grupo Material	3 / 29-28-30	G1: 15,08 ; G2: 19,92 ; G3: 18,02	25,04	2 ; 81	,000**	,382	>,999
Grosor	2 / 44-43	1,5mm: 17,49 ; 2mm: 17,86	0,46	1 ; 81	,501 ^{NS}	-	-
Interacción Grosor / Material	6 / 15-14-14-14-15-15	(Ver fig. 66)	0,07	2 ; 81	,903 ^{NS}	-	-

NS = no significativo ($p > ,050$) * Significativo al 5% ** Altamente Significativo a 1%

Fig. 66: Dureza. Variable HK-Knoop. Medias por tipo de MATERIAL y GROSOR en T180.



6.- Efecto del paso del tiempo ($T180-T0$) en la diferencia entre materiales y grosor.

Para el estudio del efecto del paso del tiempo en las diferencias anteriores, se incorporó esta variable como un factor de tipo intragrupo de medidas repetidas.

Primero, se hizo el análisis estadístico de cada material por separado con el test T de Student de medidas repetidas (muestras relacionadas) sobre el mismo objeto estadístico (las pastillas), acompañado de la alternativa no-paramétrica T de Wilcoxon para confirmar que la falta de ajuste al modelo normal de algunas de las variables no tuvo trascendencia sobre los resultados. En las tablas que están a continuación se

puede comprobar cómo los resultados de todas estas alternativas paramétricas fueron muy similares, demostrando la falta de distorsión en el análisis de la ausencia de normalidad. (Ver tablas 30-32).

A) Material Grupo 1.

En la tabla 30 se resumen sus resultados. Existe una diferencia altamente significativa con $p < ,001$ en este material debida al efecto del tiempo. Como se observa en ella, la media aumentó casi en 2 unidades (dentro de un IC de, aproximadamente, 1 a 3 unidades). El tamaño del efecto fue alto, por tanto este cambio fue notable.

Tabla 30: Test de diferencias entre medias. Dureza HK. Medidas repetidas en T0 y T180, en material Grupo 1.

Variables / Tiempo	N	Media (IC 95%)	D.T.	Diferencia absoluta entre las medias IC al 95%	Prueba T de Student			Test N-P	Tamaño efecto
					Valor T	gl	P (bilat)	Wilcoxo	
								n	
HK Inicio (T0) En T180	29	13,15 (12,99 ; 13,31) 15,07 (14,19 ; 15,95)	0,42 2,31	1,92 (1,06 ; 2,78)	4,59,21	28	,000**	,000**	0,655

NS = no significativo ($p > ,050$) * Significativo al 5% ** Altamente Significativo al 1%

B) Material Grupo 2.

Por el contrario en el segundo tipo de material, no se encontraron cambios significativos ($p > ,05$) debidos al efecto del tiempo (ver tabla 31).

Tabla 31: Test de diferencias entre medias. Dureza HK. Medidas repetidas en T0 y T180, en material Grupo 2.

Variables / Tiempo	N	Media (IC 95%)	D.T.	Diferencia absoluta entre las medias IC al 95%	Prueba T de Student			Test N-P	Tamaño efecto
					Valor T	gl	P (bilat)	Wilcoxon	
								p (bilat)	
HK Inicio (T0) En T180	28	19,55 (18,56 ; 20,55) 19,92 (18,93 ; 20,92)	2,57 2,57	0,37 (N.S.)	0,62	27	,542 ^{NS}	,452 ^{NS}	-

NS = no significativo ($p > ,050$) * Significativo al 5% ** Altamente Significativo al 1%

C) Material Grupo 3.

Y, en el tercer tipo, aparecieron diferencias significativas pero solo con $p < ,05$ por lo que el tamaño del efecto fue bastante menor (se quedó a nivel moderado). La diferencia supuso también un aumento del valor medio con el tiempo, que en este caso se acercó a las 2 unidades (con un IC bastante amplio, debido al menor tamaño del efecto y menor poder de significación) (ver tabla 32).

Tabla 32: Test de diferencias entre medias. Dureza HK. Medidas repetidas en T0 y T180, en material Grupo 3.

Variables / Tiempo	N	Media (IC 95%)	D.T.	Diferencia absoluta entre las medias IC al 95%	Prueba T de Student			Test N-P	Tamaño efecto
					Valor T	gl	P (bilat)	Wilcoxon	
								p (bilat)	
HK Inicio (T0) En T180	30	16,32 (15,00 ; 17,64) 18,02 (16,98 ; 19,07)	3,53 2,80	1,70 (0,04 ; 3,36)	2,10	29	,044 *	,043 *	0,364

NS = no significativo ($p > ,050$) * Significativo al 5% ** Altamente Significativo al 1%

Como ya se hiciera en los apartados anteriores, el estudio de estas diferencias explicadas por el paso del tiempo también se contempló desde la perspectiva del análisis multivariante, incorporando el “tipo de material” y el “grosor” como factores de tipo intergrupo, aunque ya se vio que el grosor en T180 no era significativo. Se utilizó de nuevo el ANOVA mixto con 3 factores, uno intragrupo (tiempo) de medidas repetidas y los dos factores intergrupo (ver tabla 33).

En ella se observa claramente que tanto el factor “tipo de material” como el “paso del tiempo” tuvieron un claro efecto significativo con $p < ,000$ teniendo más peso el del material que el del tiempo, cuyo efecto es incluso bajo. Desde esta perspectiva multivariante el “grosor” no tuvo ninguna significación ($p > ,05$). La interacción tiempo/material tampoco lo fue, por lo que los cambios en el tiempo fueron similares en los tres materiales (ver fig. 67), habiendo aumento en todos ellos independientemente del grosor, si bien en el material del Grupo 2 no alcanzó significación y el aumento en el Grupo 1 fue mayor. Por su parte la interacción del tiempo con el grosor sí presentó significación con $p < ,05$ que según se observa en las figs. 68 y 69, ésta se debió a que el incremento de los valores HK fue mucho mayor en las pastillas de 2 mm de grosor del material del Grupo 3, mientras que en las pastillas de 1,5 mm de grosor tanto en dicho Grupo 3 como en el Grupo 2, no hubo variación apreciable. Por su parte, en el Grupo 1 las muestras de ambos grosores se incrementaron de forma similar.

Tabla 33: ANOVA mixto de 3 factores: 1 de medidas repetidas + 2 intergrupo.
Significación de los efectos del TIEMPO, del MATERIAL y del GROSOR sobre la Dureza HK.

Variable / FACTOR	Grupos / N	Medias	F	gl	p	Eta ² parcial	Potencia
HK							
Grupo Material	3 / 29-28-30	G1: 14,11 ; G2: 19,74 ; G3: 17,17	62,86	2 ; 81	,000**	,608	>,999
Grosor	2 / 44-43	1,5mm: 17,22 ; 2mm: 16,79	1,10	1 ; 81	,297 ^{NS}	-	-
Tiempo (MR)	2 / 87	T0: 16,34 ; T180: 17,68	14,20	1 ; 81	,000**	,149	,961
Interacción Tiempo / Material	6 / 15-14-14-14-15- 15	(Ver fig. 67 y 68)	1,86	2 ; 81	,163 ^{NS}	-	-
Interacción Tiempo / Grosor	6 / 15-15-14-14-15- 15		5,14	1 ; 81	,026 *	,060	,611

NS = no significativo ($p > ,050$) * Significativo al 5% ** Altamente Significativo a 1%

Fig. 67: Dureza. Variable **HK-Knoop**. Medias por TIEMPO y TIPO DE MATERIAL.

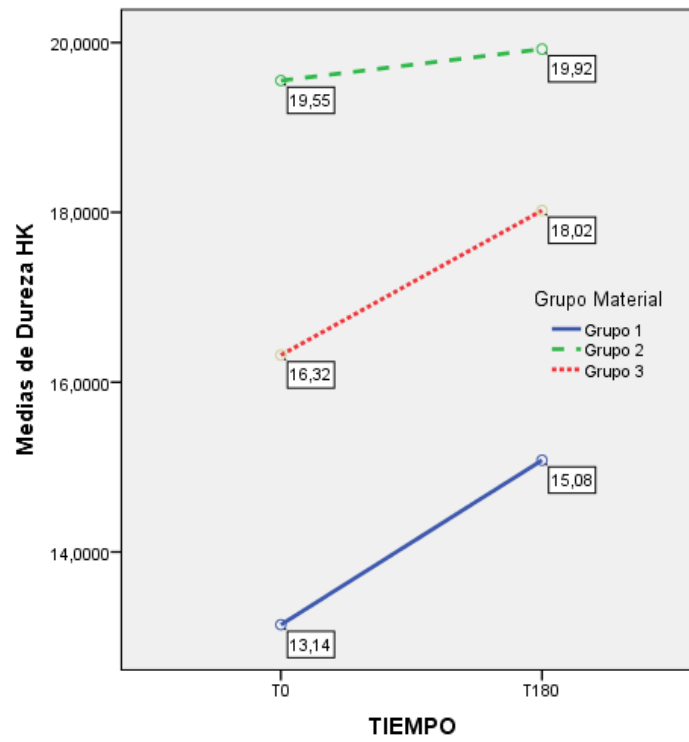


Fig. 68: Dureza. Cambio en el TIEMPO de la variable **HK**, para GROSOR 1,5 mm, según tipo de MATERIAL.

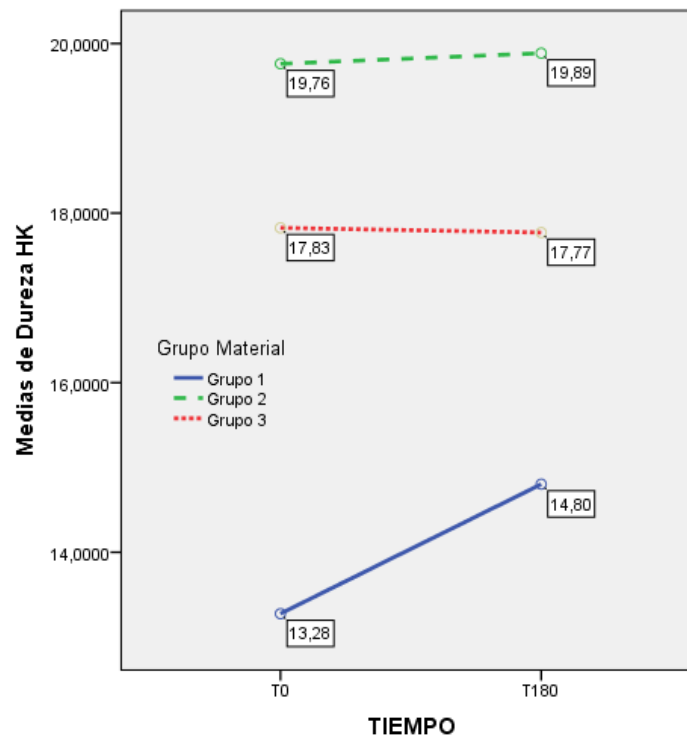
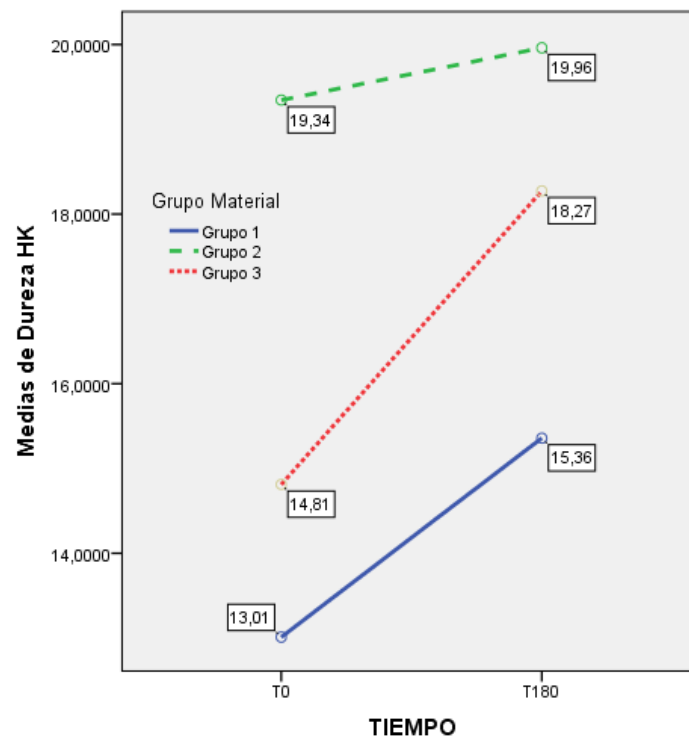


Fig. 69: Dureza. Cambio en el TIEMPO de la variable HK, para GROSOR 2 mm, según tipo de MATERIAL.



8.- Análisis de la variabilidad.

Como ya ocurriese en el estudio de las dos primeras partes se encontró una diferente variabilidad de los valores HK que en este caso solo se presentó en el momento T0. Ello no tuvo efecto alguno sobre los contrastes de medias anteriormente expuestos, como demuestra que al comparar los test paramétricos y sus alternativas no paramétricas se obtuvieron resultados casi idénticos.

Como se decía, se consideró interesante analizar las diferencias entre unas pastillas y otras fabricadas por el mismo operador, siguiendo el mismo procedimiento y con el mismo material en el momento inicial (T0) y compararla entre materiales mediante el Test de Levene. El objetivo era saber si la homogeneidad interna fue similar en todos los materiales. La tabla 34 resume estos resultados y como se observa en ella, hubo diferencias muy significativas entre los tres tipos de materiales que indican que en el momento de la fabricación, las del Grupo 1 eran muy similares entre sí (muy homogéneas), bastante más que las de los otros dos grupos. Y en ellos, por su parte, la dispersión era mucho mayor en el Grupo 3 que en el Grupo 2.

Estas diferencias en la heterogeneidad interna desaparecieron en T180, no presentando significación con $p > ,05$ (ver tabla 35).

Tabla 34: Test de homocedasticidad. Comparación de variabilidad intragrupo en T0.

Variable / Material	N	Varianza	Test de Levene						
			Valor	gl	P-sig	Par	Valor	P-sig	
HK	Grupo 1	30	0,17				G1 – G2	31,30	,000**
	Grupo 2	30	6,27	32,30	2 ; 87	,000**	G1 – G3	78,49	,000**
	Grupo 3	30	12,49				G2 – G3	7,29	,009**

NS = no significativo ($p > ,050$) * Significativo al 5% ** Altamente Significativo al 1%

Tabla 35: Test de homocedasticidad. Comparación de variabilidad intragrupo en T180.

Variable / Material	N	Varianza	Test de Levene						
			Valor	gl	P-sig	Par	Valor	P-sig	
HK	Grupo 1	30	5,34				G1 – G2	-	-
	Grupo 2	30	6,60	0,69	2 ; 84	,505 ^{NS}	G1 – G3	-	-
	Grupo 3	30	7,84				G2 – G3	-	-

NS = no significativo ($p > ,050$) * Significativo al 5% ** Altamente Significativo al 1%

FLEXIÓN

Estudio del Módulo de Elasticidad o Módulo de Flexión, E {lo Mod} (MPa)

1.- Análisis exploratorio y descriptivo previo.

Como en los estudios de los tres apartados anteriores, se dispuso de 90 pastillas (N=90), 30 de cada material, 15 de cada grosor que fueron medidas en el momento temporal (T0).

Otra partida de 90 muestras fue posteriormente fabricada, sometida ipso facto a un proceso de 2.000 ciclos de termociclado y medida de manera individual, con la máquina de ensayos universal, en T180.

Cada muestra se estudió siguiendo el mismo procedimiento (ensayo de flexión en tres puntos), aplicando la misma fuerza de ensayo y bajo idénticas condiciones ambientales.

Las gráficas facilitadas por la máquina Zwick/Roell mostraron, en algunos ejemplares, valores en blanco (desconocidos), por tratarse de fracturas de las muestras en la pendiente inicial de la gráfica, segundos antes de alcanzar la fluencia. Por tanto, el N total sufrió una variación que se detallará más adelante.

En primer lugar se realizó el habitual análisis exploratorio y descriptivo de una de las variables que evalúa la flexión: El **módulo de elasticidad o módulo de flexión, E {lo Mod} (MPa)** de la serie completa en ambos momentos temporales de medida.

En la exploración se observaron algunos valores ligeramente fuera de rango, pero sobre todo tres extremadamente fuera de rango (*far-out*) que se alejaban por el extremo superior (>5100). Se decidió eliminar los valores *far-out* por la posible distorsión que pudieran provocar en los análisis de la serie completa, pero se mantuvieron aquellos que solo se alejaron ligeramente del grupo. El resto del análisis estadístico se realizó con los que se consideraron como datos válidos.

Respecto al grado de ajuste al modelo de curva normal, en ambos tiempos de medida (T0 y T180) se encontró una tendencia asimétrica positiva, es decir con tendencia hacia los valores bajos. En la medida en T0, además, la altura de la curva superó bastante la de la curva normal. Por unas cuestiones y otras, el desvío con respecto al modelo de

Gauss fue altamente significativo con $p < ,001$ en el test K-S. Por este motivo, como en los apartados anteriores del análisis estadístico, además de las técnicas paramétricas, se prestó atención al resultado de sus alternativas no-paramétricas.

En la tabla 36 que sigue se muestran los estadísticos descriptivos de esta variable en ambos momentos temporales, con los datos considerados como válidos dentro de la serie.

Tabla 36: Análisis descriptivo y exploratorio.			
Flexión en T0 y T180.			
Variable		E {lo Mod} MPa	
Momento de medida		T0	T180
N válido		76	77
Media		2125,96	2293,25
IC 95%	L.Infer	1970,79	2088,96
	L.Sup	2281,13	2497,54
Mediana		1935,00	2150,00
Mínimo		745	853
Máximo		4280	4590
Desv. Típica		679,05	900,06
Rec. Intercuartil		753,00	1280,00
Asimetría		0,897	0,745
Curtosis		0,760	-0,130
p-valor (test K-S)		,000**	,000**

NS = no significativo ($p > ,050$) * Significativo al 5%
desvío leve ** Altamente Significativo al 1%
desvío grave

2.- Diferencia entre materiales en origen (T0).

Se compararon los valores medios en T0 del módulo de elasticidad para determinar si hubo diferencias en origen. Se continuó empleando el mismo procedimiento estadístico de las partes anteriores del presente estudio (ver tabla 37).

Se encontraron diferencias altamente significativas con $p < ,000$ entre los tipos de materiales empleados, con un tamaño del efecto moderado y muy elevada potencia. La significación se verificó tanto con los test paramétricos como con sus alternativas no-paramétricas. En las comparaciones por pares, las diferencias fueron altamente significativas ($p < ,000$) entre el material del Grupo 2, que tuvo la media mayor

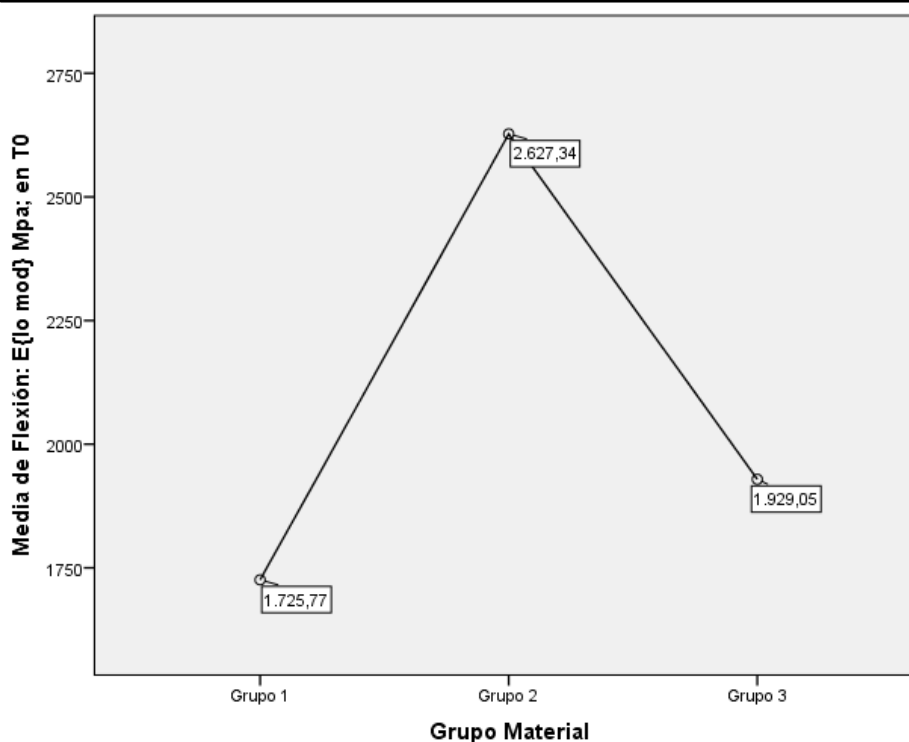
(2627,34) y las medias de los otros dos tipos de materiales (1725,77 y 1929,05) entre quienes, por su lado, no hubo una diferencia significativa, con $p > ,05$ (ver fig. 70).

Tabla 37: Test de diferencia de medias. Variable de Flexión, según tipo de Material, en T0.

Variable / Material	N	Media (IC 95%)	D.T.	Anova 1 factor			Tamaño efecto	Potencia	POST-HOC: Tukey Pares significativos	Test K-W P-sig
				Valor F	gl	P-sig				
E {lo Mod} MPa	Grupo 1	26 1725,77 (1629,07 ; 1822,47)	239,40							
	Grupo 2	29 2627,34 (2314,52 ; 2940,17)	822,39	20,07	2 ; 73	,000**	,355	>,999	G2 > G3 p=,000** G2 > G1 p=,000**	,000**
	Grupo 3	21 1929,05 (1787,12 ; 2070,98)	311,80							

NS = no significativo ($p > ,050$) * Significativo al 5% ** Altamente Significativo al 1%

Fig. 70: Flexión. Variable E {lo Mod} MPa. Medias por tipo de MATERIAL en T0.



3.- Diferencia entre materiales después del termociclado (T180).

Al repetir el análisis con los valores medios en T180 (ver tabla 38), de nuevo se encontraron diferencias altamente significativas con $p < ,000$ tanto en los test paramétricos como en los no-paramétricos. Según esto, hubo un

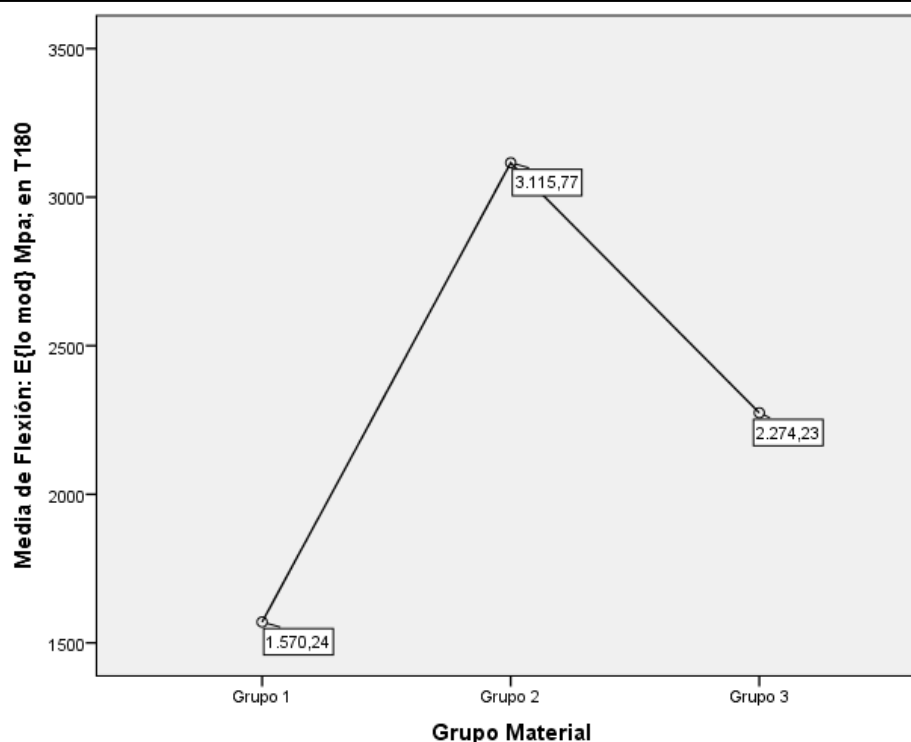
efecto significativo del tipo de material con un tamaño que en T180 fue más elevado (moderado-alto) mientras que la potencia siguió siendo muy elevada. En los contrastes por pares, todas las diferencias fueron altamente significativas con $p < ,000$. De manera que se estableció una relación ordinal (ver fig. 71), donde: la media del Grupo 2 (3115,77) fue mayor que la media del Grupo 3 (2274,23) y ambas fueron significativamente mayores que las del Grupo 1 (1570,24).

Tabla 38: Test de diferencia de medias. Variable de Flexión, según tipo de Material, en T180.

Variable / Material	N	Media (IC 95%)	D.T.	Anova 1 factor			Tamaño efecto	Potencia	POST-HOC: Tukey Pares significativos	Test K-W P-sig
				Valor F	gl	P-sig				
E {lo Mod} MPa	Grupo 1	29 1570,24 (1438,47 ; 1702,01)	346,41							
	Grupo 2	26 3115,77 (2776,03 ; 3455,51)	841,14	42,07	2 ; 74	,000**	,532	>,999	G2 > G3 p=,000** G2 > G1 p=,000** G3 > G1 p=,000**	,000**
	Grupo 3	22 2274,23 (2004,64 ; 2543,81)	608,03							

NS = no significativo ($p > ,050$) * Significativo al 5% ** Altamente Significativo al 1%

Fig. 71: Flexión. Variable E {lo Mod} MPa. Medias por tipo de MATERIAL en T180.



4.- Diferencia entre materiales y grosores en origen (T0).

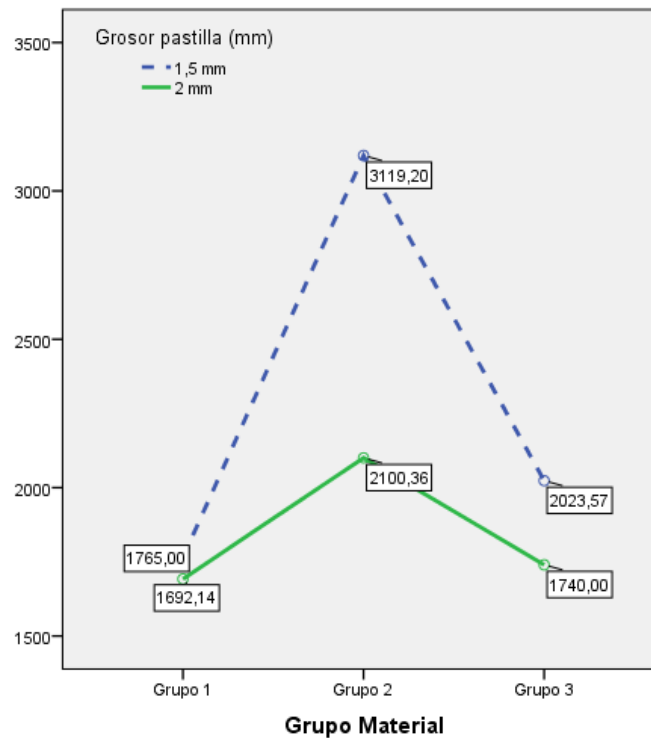
Tras los resultados anteriores se añadió como segundo factor el grosor de las pastillas. La tabla 39 resume los resultados del correspondiente ANOVA de 2 factores. El efecto del material ya se conocía aunque esta vez aumentó algo su tamaño. También el grosor de las pastillas ejerció significación con $p < ,001$ aunque con menos tamaño del efecto en las diferencias, quienes indicaron que la media era más alta cuando la pastilla era de 1,5 mm de grosor, en todos los tipos de materiales. Pero, puesto que la interacción también fue altamente significativa con $p < ,01$ las diferencias no fueron similares en los tres tipos de materiales. Como se observa en la fig. 72, lo que expresa esta interacción es que las diferencias entre grosores fueron mucho mayores en el Grupo 2 que en los otros dos grupos, en especial respecto al Grupo 1 donde la diferencia fue muy escasa.

Tabla 39: ANOVA de 2 factores. Significación de los efectos del MATERIAL y el GROSOR sobre la Flexión, en T0.

Variable / FACTOR		Grupos / N	Medias	F	g.l	p	Eta ² parcial	Potencia
E{lo Mod} MPa	Grupo Material	3 / 29-26-21	G1: 1725,77 ; G2: 2627,34 ; G3: 1929,05	29,11	2 ; 70	,000**	,454	>,999
	Grosor	2 / 41-35	1,5mm: 2348,73 ; 2mm: 1865,00	18,14	1 ; 70	,000**	,206	,987
	Interacción Grosor / Material	6 / 12-14-15-14-14- 7	(Ver fig. 72)	8,14	2 ; 70	,001**	,189	,952

NS = no significativo ($p > ,050$) * Significativo al 5% ** Altamente Significativo a 1%

Fig. 72: Flexión. Variable E {lo Mod} MPa. Medias por tipo de MATERIAL y GROSOR en T0.



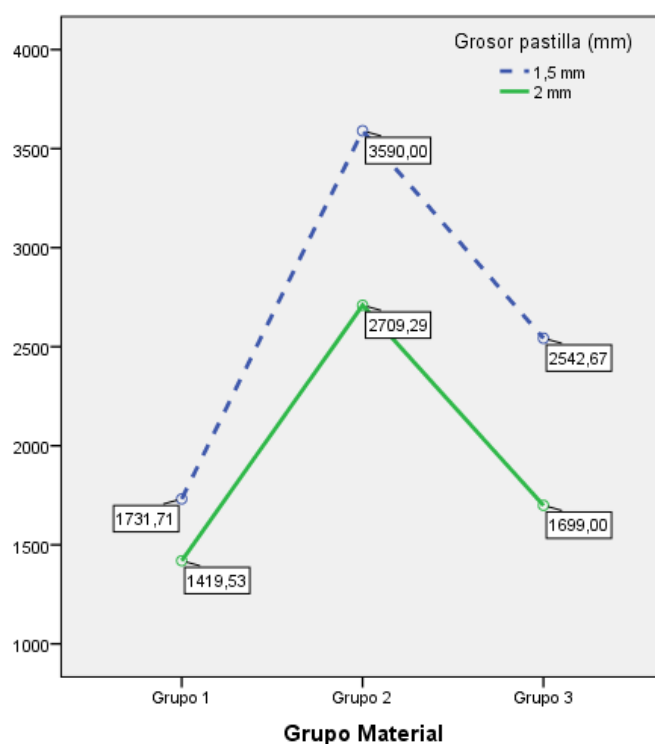
5.- *Diferencias entre materiales y grosores después del termociclado (T180).*

La tabla 40 resume los resultados correspondientes al ANOVA de 2 factores para la variable de módulo de flexión medida en T180. Al efecto del material, ya conocido, se añadió el efecto significativo con $p < ,05$ aunque con bajo tamaño, de las diferencias en función del grosor. Estas diferencias indican que la media fue más alta cuando la pastilla era de 1,5 mm de grosor, independientemente del tipo de material. Esta vez, al contrario de lo que ocurría en T0, la interacción de factores no resultó significativa con $p > ,05$ por lo que los cambios observados entre los materiales fueron muy similares en ambos grosores (ver fig. 73); es decir, que la diferencia que había en T0 en el Grupo 2 se acortó.

Tabla 40: ANOVA de 2 factores. Significación de los efectos del MATERIAL y el GROSOR sobre la Flexión, en T180.

Variable / FACTOR		Grupos / N	Medias	F	g.l	p	Eta ² parcial	Potencia
E{lo Mod} MPa	Grupo Material	3 / 29-26-22	G1: 1570,24 ; G2: 3115,77 ; G3: 2274,23	61,98	2 ; 71	,000**	,636	>,999
	Grosor	2 / 41-36	1,5mm: 2572,29 ; 2mm: 1975,44	29,76	1 ; 71	,000**	,295	>,999
	Interacción Grosor / Material	6 / 14-15-12-14-15- 7	(Ver fig. 73)	2,43	2 ; 71	,095 ^{NS}	-	-

NS = no significativo ($p > ,050$) * Significativo al 5% ** Altamente Significativo a 1%

Fig. 73: Flexión. Variable E {lo Mod} MPa. Medias por tipo de MATERIAL y GROSOR en T180.

6.- Efecto del paso del tiempo (T180-T0) en la diferencia entre materiales y grosores.

Para el estudio del efecto del paso del tiempo en las diferencias anteriores, se incorporó esta variable como un factor de tipo intragrupo de medidas repetidas. Es importante recordar que debido a la rotura prematura de alguna de las muestras, en especial del Grupo 3, no se tuvieron medidas de todas las pastillas en ambos tiempos,

por lo que el N varió con respecto a los análisis anteriores ya que solo se pudo contar con aquellos ejemplares de los que se tenían valores en los dos T.

Se comenzó con el análisis estadístico de cada material por separado mediante el test de Student para medidas repetidas (datos apareados) acompañado de su alternativa no-paramétrica (el Test de Wilcoxon), para confirmar que la falta de ajuste al modelo normal no tuvo influencia sobre los resultados. Sus resultados fueron muy similares, lo que confirmó la sospecha anterior (ver tablas 41-43).

A) Material Grupo 1.

En este primer tipo de material no se alcanzó una diferencia suficiente como para ser considerada como estadísticamente significativa con $p > ,05$ en ninguno de los test estadísticos. Sin embargo, estuvo en el umbral de la significación ($p = 0,059$), de hecho si se hubiese considerado el contraste a una sola cola, la diferencia hubiera sido significativa ($p < ,05$), por tanto pudimos hablar de una casi-significación que posiblemente no se demostró estadísticamente por la pérdida en el N de pastillas, con un par de datos válidos en ambas medidas. La tendencia manifestada por las medias, nos hace pensar que es posible que el valor en T0 hubiese sido mayor, por lo que con el tiempo se podría haber reducido el promedio de E {lo Mod}, aunque es una conclusión que hay que tomar con prudencia.

Tabla 41: Test de diferencias entre medias. Flexión. Medidas repetidas en T0 y T180, en material Grupo 1.

Variables / Tiempo	N	Media (IC 95%)	D.T.	Diferencia absoluta entre las medias IC al 95%	Prueba T de Student		Test N-P Wilcoxon P (bilat)	Tamaño efecto
					Valor T	gl		
E{lo Mod} Inicio (T0) En T180	25	1728,40 (1627,70 ; 1829,10) 1554,56 (1426,78 ; 1682,34)	243,96 309,55	173,84 (N.S.)	1,98	24	,059 ^{NS} ,069 ^{NS}	-

NS = no significativo ($p > ,050$) * Significativo al 5% ** Altamente Significativo al 1%

B) Material Grupo 2.

En el segundo tipo de material sí que se encontró una diferencia altamente significativa ($p < ,01$) en ambos test estadísticos. Diferencia que además tuvo un tamaño del efecto elevado. Los valores medios indican que el valor de la variable aumentó con el tiempo. La diferencia fue de algo más de 640 MPa (IC 95%: 261,83 – 1021,93).

Tabla 42: Test de diferencias entre medias. Flexión. Medidas repetidas en T0 y T180, en material Grupo 2.

Variables / Tiempo	N	Media (IC 95%)	D.T.	Diferencia absoluta entre las medias IC al 95%	Prueba T de Student			Test N-P Wilcoxon P (bilat)	Tamaño efecto
					Valor T	gl	P (bilat)		
E{lo Mod} Inicio (T0) En T180	25	2528,12 (2214,25 ; 2841,99) 3170,00 (2835,33 ; 3504,67)	760,39 810,77	641,88 (261,83 ; 1021,93)	3,49	24	,002**	,004**	0,618

NS = no significativo ($p > ,050$) * Significativo al 5% ** Altamente Significativo al 1%

C) Material Grupo 3.

Y, finalmente en el tercer tipo de material también se encontró una diferencia altamente significativa con $p < ,01$ y tamaño del efecto similar al del grupo anterior. La diferencia en este caso, fue de alrededor de los 400 MPa (IC 95%: 158,56 – 646,92), menor a la observada en el Grupo 2.

Tabla 43: Test de diferencias entre medias. Flexión. Medidas repetidas en T0 y T180, en material Grupo 3.

Variables / Tiempo	N	Media (IC 95%)	D.T.	Diferencia absoluta entre las medias IC al 95%	Prueba T de Student			Test N-P Wilcoxon P (bilat)	Tamaño efecto
					Valor T	gl	P (bilat)		
E{lo Mod} Inicio (T0) En T180	17	1967,06 (1796,82 ; 2137,30) 2370,00 (2088,99 ; 2651,01)	331,11 546,56	402,94 (158,96 ; 646,92)	3,50	16	,003**	,007**	0,659

NS = no significativo ($p > ,050$) * Significativo al 5% ** Altamente Significativo al 1%

Del mismo modo que en las partes previas del estudio, el efecto del tiempo también se contempló desde la perspectiva del análisis multivariante, incorporando el “tipo de material” y el “grosor” como factores de tipo intergrupo a un modelo de ANOVA mixto con 3 factores.

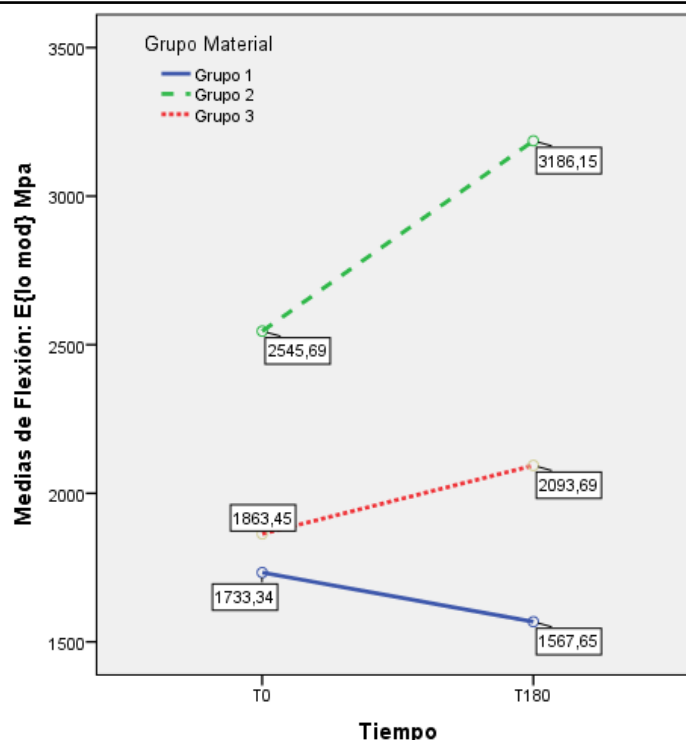
Los resultados obtenidos se resumen en la tabla 44. Se observaron las diferencias ya conocidas en función del tipo de material ($p < ,000$) donde el material del Grupo 2 tenía la media más elevada; así como diferencias en función del grosor, aunque con menor tamaño del efecto, donde la media de las pastillas de 2 mm de grosor fue menor que la del otro grosor. Así mismo, se confirmó el efecto del tiempo, aunque con menos significación ($p < ,05$) y con un tamaño del efecto bastante bajo. La interacción del tiempo con el material resultó altamente significativa ($p < ,01$). Esta combinación de factores tuvo significación porque mientras en el material del Grupo 2 se observó un claro aumento en la media, en el del Grupo 3 este aumento fue bastante menor y en el del Grupo 1 incluso hubo un reducción (ver fig. 74), coincidiendo con los resultados anteriormente comentados. Por su parte la interacción tiempo/grosor no fue significativa ($p > ,05$) por lo que la tendencia anterior fue similar en ambos grosores.

Tabla 44: ANOVA mixto de 3 factores: 1 de medidas repetidas + 2 intergrupo.
Significación de los efectos del TIEMPO, del MATERIAL y del GROSOR sobre la Flexión.

Variable / FACTOR	Grupos / N	Medias	F	gl	p	Eta ² parcial	Potencia	
E {lo Mod}	Grupo Material	3 / 25-25-17	G1: 1650,50 ; G2: 2865,92 ; G3: 1978,57	78,34	2 ; 61	,000**	,720	>,999
	Grosor	2 / 37-30	1,5mm: 2428,40 ; 2mm: 1901,59	28,35	1 ; 61	,000**	,317	,999
	Tiempo (MR)	2 / 67	T0: 2428,40 ; T180: 2282,50	6,01	1 ; 61	,017 *	,090	,675
	Interacción Tiempo / Material	6 / 11-14-12-13-14-3	(Ver fig. 74)	8,87	2 ; 61	,000**	,225	,965
	Interacción Tiempo / Grosor	6 / 11-14-12-13-14-3		1,08	1 ; 61	,302 ^{NS}	-	-

NS = no significativo ($p > ,050$) * Significativo al 5% ** Altamente Significativo a 1%

Fig. 74: Flexión. Variable E {lo Mod}. Medias por TIEMPO y TIPO DE MATERIAL.



8.- Análisis de la variabilidad.

Para terminar con esta parte del estudio estadístico, de nuevo hacemos referencia a la variabilidad interna de las pastillas de cada grupo. Se recuerda que la coincidencia de resultados entre los test paramétricos y no-paramétricos anteriores, indica que esta cuestión no afecta al contraste de las medias. Pero, se observaron diferencias significativas ($p < ,001$) en la homogeneidad interna de cada tipo de material que conviene comentar. Se empleó el test de Levene y los resultados se presentan en las tablas 45 y 46.

Como se puede apreciar en dichas tablas, en el momento inicial (T0) las pastillas de los grupos 1 y 3 eran las más homogéneas, no habiendo significación entre ellas ($p > ,05$); mientras que ambas sí que la presentaron ($p < ,01$) con respecto a las del Grupo 2, que fueron las más heterogéneas. Sin embargo después del termociclado, en T180, la situación cambió. Mientras las pastillas del Grupo 2 mantuvieron una heterogeneidad similar a la inicial, aun siendo alta; las de los otros dos grupos incrementaron esa variabilidad interna, y lo hicieron de forma significativa entre sí ($p < ,01$); llegando, en el

caso del Grupo 3, a no presentar ya ($p > ,05$) diferencia significativa con el Grupo 2, que siguió siendo el más variable.

Tabla 45: Test de homocedasticidad. Comparación de variabilidad intragrupo en T0.

Variable / Material	N	Varianza	Test de Levene						
			Valor	gl	P-sig	Par	Valor	P-sig	
E{lo Mod}	Grupo 1	26	57313,32				G1 – G2	21,14	,000**
	Grupo 2	26	676325,31	15,75	2 ; 73	,000**	G1 – G3	1,15	,290 ^{NS}
	Grupo 3	21	97219,24				G2 – G3	12,98	,001**

NS = no significativo ($p > ,050$) * Significativo al 5% ** Altamente Significativo al 1%

Tabla 46: Test de homocedasticidad. Comparación de variabilidad intragrupo en T180.

Variable / Material	N	Varianza	Test de Levene						
			Valor	gl	P-sig	Par	Valor	P-sig	
E{lo Mod}	Grupo 1	29	120000,58				G1 – G2	24,04	,000**
	Grupo 2	26	707513,14	12,58	2 ; 74	,000**	G1 – G3	10,66	,002**
	Grupo 3	22	369695,62				G2 – G3	3,23	,079 ^{NS}

NS = no significativo ($p > ,050$) * Significativo al 5% ** Altamente Significativo al 1%

Estudio de la Resistencia a la Flexión, σ_{fM} (MPa)

1.- Análisis exploratorio y descriptivo previo

Se comenzó con el análisis exploratorio y descriptivo de la variable que evalúa la resistencia a la flexión: σ_{fM} (MPa) de la serie completa (N=90) y en ambos momentos temporales de medida.

En la exploración apenas se observaron valores ligeramente fuera de rango, por el extremo superior, en la medida de T180. Dado que el alejamiento del grupo fue mínimo no se consideró necesario descartarlos y el resto de los análisis se realizaron con el grupo al completo. Aunque en cuatro de las muestras no se tuvieron registros de resistencia a la flexión en T0.

El grado de ajuste al modelo de la campana normal de Gauss fue bueno en ambos tiempos de medida, con desvíos que no fueron significativos ($p > ,05$) en el test K-S,

a pesar de que en el tiempo T180 hubo una cierta asimetría positiva y una altura algo mayor de la normal. Por ello, aunque en principio hubiera bastado con los resultados de las técnicas estadísticas paramétricas, también se evaluaron los resultados de sus alternativas no-paramétricas, con objeto de corroborar los mismos.

En la tabla 47 se resumen los estadísticos descriptivos de esta variable en los dos tiempos de medida. Como se observa en ella, en el conjunto total de la serie hubo una pequeña reducción en el valor de la media para el momento T180, mientras que se mantuvo muy similar la variabilidad en torno a dicha reducción.

Tabla 47: Análisis descriptivo y exploratorio.
Resistencia a la Flexión en T0 y T180.

Variable	σ_{fM} (MPa)	
	T0	T180
Momento de medida		
N válido	86	90
Media	74,31	70,45
IC 95%	L.Infer	69,50
	L.Sup	79,11
Mediana	69,35	68,48
Mínimo	28,53	26,82
Máximo	144,00	148,80
Desv. Típica	22,41	23,84
Rec. Intercuartil	36,38	29,34
Asimetría	0,604	0,940
Curtosis	0,047	1,035
p-valor (test K-S)	,335 ^{NS}	,232 ^{NS}

NS = no significativo ($p > ,050$) * Significativo al 5% desvío leve
** Altamente Significativo al 1% desvío grave

2.- Diferencia entre materiales en origen (T0).

Con la misma estrategia de análisis anteriores, se comenzó por comparar los valores promedio en T0 de la resistencia a la flexión, σ_{fM} (MPa) con la intención de determinar si había diferencias en origen. La tabla 48 resume el resultado de estos análisis, con los mismos procedimientos empleados en partes anteriores del estudio.

Se determinó la existencia de diferencias altamente significativas con $p < ,000$ entre los tipos de material empleados, con un tamaño del efecto grande y una muy elevada potencia. Esta significación se verificó también ($p < ,000$) en la alternativa no-

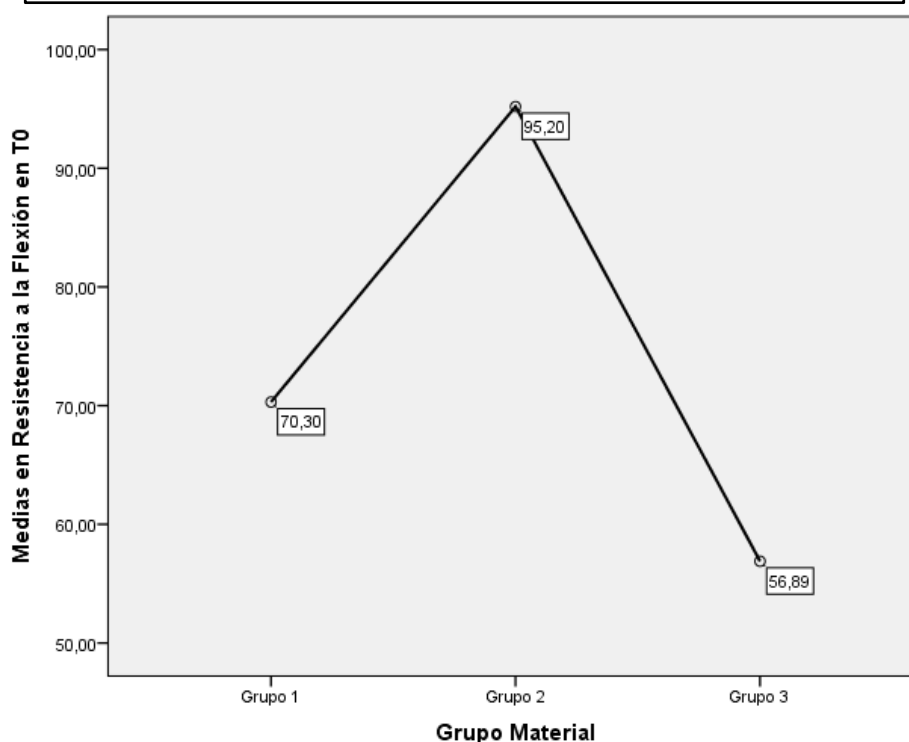
paramétrica. En las comparaciones por pares a posteriori, de nuevo las diferencias fueron altamente significativas ($p < ,01$ al menos) para esta variable entre el material del Grupo 2, que tuvo la media más elevada (95,20) y las medias de los otros dos tipos de materiales (70,30 y 56,89). Estos entre sí también alcanzaron diferencias altamente significativas, con $p < ,01$. De manera que se les pudo ordenar de mayor a menor: Grupo 2 > Grupo 1 > Grupo 3 (ver fig. 75).

Tabla 48: Test de diferencia de medias. Variable de Resistencia a la Flexión, según tipo de Material, en T0.

Variable / Material	N	Media (IC 95%)	D.T.	Anova 1 factor			Tamaño efecto	Potencia	POST-HOC: Tukey Pares significativos	Test K-W P-sig	
				Valor F	gl	P-sig					
σ_{fm} (MPa)	Grupo 1	26	70,30 (66,57 ; 74,03)	9,23							
	Grupo 2	30	95,20 (86,20 ; 103,94)	23,43	46,71	2 ; 83	,000**	,530	>,999	G2 > G1 p=,000** G2 > G3 p=,000** G1 > G3 p=,005**	,000**
	Grupo 3	30	56,89 (53,76 ; 60,02)	8,38							

NS = no significativo ($p > ,050$) * Significativo al 5% ** Altamente Significativo al 1%

Fig. 75: Flexión. Variable σ_{fm} (MPa). Medias por tipo de MATERIAL en T0.



3.- Diferencia entre materiales después del termociclado (T180).

Se repitió el análisis anterior con los valores obtenidos en T180 (ver tabla 49). De nuevo se observaron diferencias altamente significativas

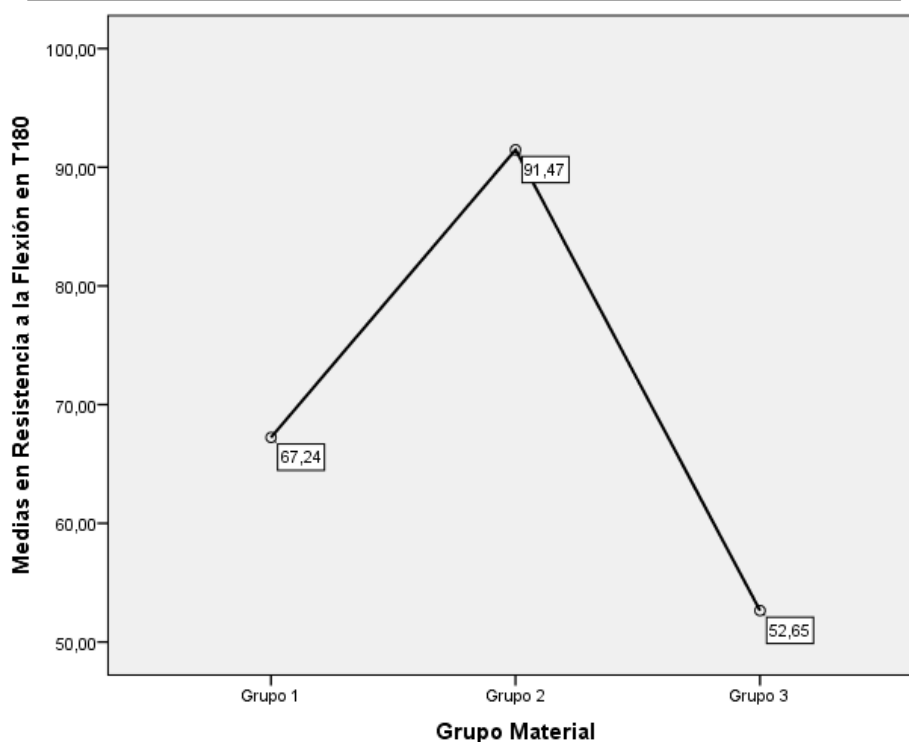
con $p < ,000$ en ambos procedimientos estadísticos. Por tanto, se concluye que existió un efecto significativo, de tamaño elevado, del tipo de material y con alta potencia. En los contrastes por pares, se mantuvieron todas las diferencias como altamente significativas con $p < ,01$, como mínimo. Se mantuvo la misma relación ordinal (ver fig. 76) según la cual: la media del Grupo 2 (91,47) fue mayor que la media del Grupo 1 (67,24) y ambas fueron significativamente mayores que la media del Grupo 3 (52,65).

Tabla 49: Test de diferencia de medias. Variable de Resistencia a la Flexión, según tipo de Material, en T180.

Variable / Material	N	Media (IC 95%)	D.T.	Anova 1 factor			Tamaño efecto	Potencia	POST-HOC: Tukey Pares significativos	Test K-W P-sig	
				Valor F	gl	P-sig					
σ_{fM} (MPa)	Grupo 1	30	67,24 (62,55 ; 71,92)	12,55							
	Grupo 2	30	91,47 (81,83 ; 101,10)	25,80	36,48	2 ; 87	,000**	,456	>,999	G2 > G1 p=,000** G2 > G3 p=,000** G1 > G3 p=,006**	,000**
	Grupo 3	30	52,65 (48,46 ; 56,83)	11,21							

NS = no significativo ($p > ,050$) * Significativo al 5% ** Altamente Significativo al 1%

Fig. 76: Flexión. Variable σ_{fM} (MPa). Medias por tipo de MATERIAL en T180.



4.- Diferencia entre materiales y grosor en origen (T0).

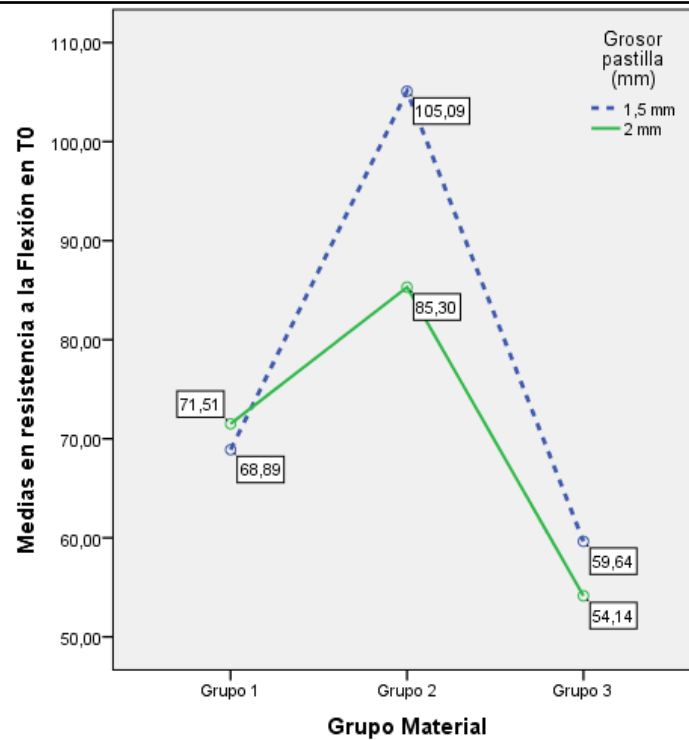
Se continuó el análisis estadístico añadiendo como segundo factor diferencial el “grosor” de las pastillas. La tabla 50 resume los resultados del ANOVA de 2 factores. Se mantuvo efecto del material con tamaño similar al ya conocido y comentado en los párrafos anteriores. Por su parte, el grosor de las pastillas también ejerció significación con $p < ,05$ pero con un tamaño del efecto, sobre las diferencias, pequeño. Se observó que la media de σ_{fM} (MPa) fue más elevada cuando la pastilla era de 1,5 mm en global, pero no en todos los tipos de materiales (ver fig. 77). Ello se debió a que la interacción también fue significativa con $p < ,05$ y las diferencias no fueron semejantes en los tres tipos de materiales. Como se aprecia en la citada figura, en el caso del material del Grupo 2 es dónde claramente la media de las pastillas de 1,5 mm fue más elevada que la media de las de 2 mm. Pero en los otros dos tipos de materiales, estas diferencias fueron mínimas, e incluso de llegar a ser significativas (que no lo fueron) en el material del Grupo 1 la diferencia sería al contrario.

Tabla 50: ANOVA de 2 factores. Significación de los efectos del MATERIAL y el GROSOR sobre la Resistencia a la Flexión, en T0.

Variable / FACTOR	Grupos / N	Medias	F	g.l	p	Eta ² parcial	Potencia	
σ_{fM} (MPa)	Grupo Material	3 / 26-30-30	G1: 70,30 ; G2: 95,20 ; G3: 56,89	53,62	2	,000**	,573	>,999
	Grosor	2 / 42-44	1,5mm: 78,51 ; 2mm: 70,29	5,78	1	,019 *	,067	,661
	Interacción Grosor / Material	6 / 12-14-15-15-15- 15	(Ver fig. 77)	4,30	2	,017 *	,097	,734

NS = no significativo ($p > ,050$) * Significativo al 5% ** Altamente Significativo a 1%

Fig. 77: Flexión. Variable σ_{fM} (MPa). Medias por tipo de MATERIAL y GROSOR en T0.



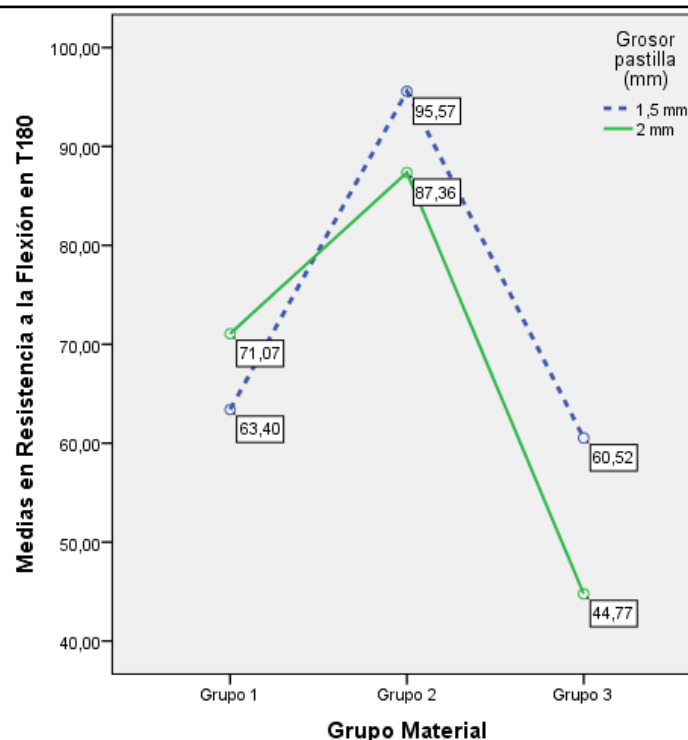
5.- *Diferencia entre materiales y grosor después del termociclado (T180).*

En la tabla 51 se presentan los resultados correspondientes al ANOVA para la variable resistencia a la flexión medida en el tiempo T180. Siguió apareciendo efecto del material ya conocido en un nivel similar a los anteriores. Pero, no se determinó la existencia de un efecto significativo con $p > ,05$ en función del grosor, aunque se mantuvo que en el global la media de muestras de 1,5 mm de grosor fue mayor que la de 2 mm. Sin embargo la interacción de factores mantuvo una significación ($p < ,05$ con tamaño del efecto pequeño) donde la diferencia que se observaba en T0 en el material del Grupo 2 se redujo ampliamente (ver fig. 78) a la par que las diferencias en los otros dos aumentaron, especialmente en el caso del material del Grupo 3. Hay que destacar también que en el material del Grupo 1, sucedió lo contrario que en los otros dos, fue la media de 2 mm la que resultó mayor que la media de 1,5 mm de grosor.

Tabla 51: ANOVA de 2 factores. Significación de los efectos del MATERIAL y el GROSOR sobre la Flexión, en T180.

Variable / FACTOR		Grupos / N	Medias	F	g.l	p	Eta ² parcial	Potencia
σ_{fm} (MPa)	GrupoMaterial	3 / 30	G1: 67,24 ; G2: 91,47 ; G3: 52,65	39,23	2	,000**	,483	>,999
	Grosor	2 / 45	1,5mm: 73,17 ; 2mm: 67,73	2,26	1	,137 ^{NS}	-	-
	Interacción Grosor / Material	6 / 15	(Ver fig. 78)	3,64	2	,030 *	,080	,658

NS = no significativo ($p > ,050$) * Significativo al 5% ** Altamente Significativo a 1%

Fig. 78: Flexión. Variable σ_{fm} (MPa). Medias por tipo de MATERIAL y GROSOR en T180.

6.- Efecto del paso del tiempo (T180–T0) en la diferencia entre materiales y grosor.

Para comprobar el posible efecto del paso del tiempo en las diferencias anteriores, se incorporó esta variable como un factor intragrupo de medidas repetidas. Dada la ausencia de resultados en cuatro de las muestras en T0, para este análisis solo se tuvieron en cuenta las 86 muestras donde sí había un par completo de valores.

Como en estudios anteriores, se analizó cada material por separado mediante el test de T de Student para medidas repetidas (datos apareados) acompañado de su alternativa no-paramétrica (el Test de Wilcoxon). Los resultados de ambos fueron muy similares (ver tablas 52, 53 y 54).

A) Material Grupo 1.

En el primer tipo de material no se encontró una diferencia que pudiera ser considerada como estadísticamente significativa ($p > ,05$) en ninguno de los test estadísticos. Por tanto no hubo cambios que pudieran ser explicados por el paso del tiempo.

Tabla 52: Test de diferencias entre medias. Resistencia a la Flexión. Medidas repetidas en T0 y T180, en material Grupo 1.

Variables / Tiempo	N	Media (IC 95%)	D.T.	Diferencia absoluta entre las medias IC al 95%	Prueba T de Student			Test N-P Wilcoxon P (bilat)	Tamaño efecto
					Valor T	gl	P (bilat)		
σ_{fM} (MPa)									
Inicio (T0)		70,30 (66,57 ; 74,03)	9,23	3,10 (N.S.)					
En T180	26	67,20 (62,50 ; 71,87)	12,08		1,01	25	,321 ^{NS}	,395 ^{NS}	-

NS = no significativo ($p > ,050$) * Significativo al 5% ** Altamente Significativo al 1%

B) Material Grupo 2.

En la misma línea, en el segundo tipo de material tampoco se encontró una diferencia significativa ($p > ,05$). De manera que de nuevo se descartó el efecto del tiempo.

Tabla 53: Test de diferencias entre medias. Resistencia a la Flexión. Medidas repetidas en T0 y T180, en material Grupo 2.

Variables / Tiempo	N	Media (IC 95%)	D.T.	Diferencia absoluta entre las medias IC al 95%	Prueba T de Student			Test N-P Wilcoxon P (bilat)	Tamaño efecto
					Valor T	gl	P (bilat)		
σ_{fM} (MPa)									
Inicio (T0)		95,20 (86,20 ; 103,94)	23,43	3,73 (N.S.)					
En T180	30	91,47 (81,83 ; 101,10)	25,80		0,64	29	,525 ^{NS}	,510 ^{NS}	-

NS = no significativo ($p > ,050$) * Significativo al 5% ** Altamente Significativo al 1%

C) **Material Grupo 3.**

Y, finalmente en el material del Grupo 3, tampoco se observó significación ($p > ,05$). No obstante, en este caso el valor P encontrado estaba al borde de la significación ($p = ,060$) por lo que podría ser un indicio de existencia de diferencia que, de confirmarse, determinaría que el valor de la media de la variable σ_{fM} (MPa) disminuye en el tiempo. Esta afirmación hay que tomarla con la prudencia lógica debida a la no confirmación estadística.

Tabla 54: Test de diferencias entre medias. Resistencia a la Flexión. Medidas repetidas en T0 y T180, en material Grupo 3.

Variables / Tiempo	N	Media (IC 95%)	D.T.	Diferencia absoluta entre las medias IC al 95%	Prueba T de Student			Test N-P Wilcoxon P (bilat)	Tamaño efecto
					Valor T	gl	P (bilat)		
σ_{fM} (MPa) Inicio (T0) En T180	30	56,89 (53,76 ; 60,02) 52,65 (48,46 ; 56,83)	8,38 11,21	4,24 (N.S.)	1,96	29	,060 ^{NS}	,038 *	-

NS = no significativo ($p > ,050$) * Significativo al 5% ** Altamente Significativo al 1%

Por seguir con la misma forma de trabajo de partes previas del estudio, el efecto del tiempo también se contempló desde la perspectiva del análisis multivariante, incorporando el “tipo de material” y el “grosor” como factores de tipo intergrupo a un modelo de ANOVA mixto con 3 factores. Algo que tras lo comentado anteriormente, tuvo más interés en este caso.

Se mantuvieron las significaciones ya comentadas del efecto del tipo de material ($p < ,001$) y del grosor ($p < ,05$); pero, ni el tiempo ni sus interacciones ejercieron significación alguna con $p > ,05$ (ver tabla 55) lo que vino a confirmar la misma ausencia de efecto que se vio en las pruebas T de Student que precedieron a este análisis.

Tabla 55: ANOVA mixto de 3 factores: 1 de medidas repetidas + 2 intergrupo.
Significación de los efectos del TIEMPO, del MATERIAL y del GROSOR sobre la Resistencia a la Flexión.

Variable / FACTOR	Grupos / N	Medias	F	gl	p	Eta ² parcial	Potencia
σ_{fM} (MPa)							
Grupo Material	3 / 26-30-30	G1: 1650,50 ; G2: 2865,92 ; G3: 1978,57	84,71	2	,000**	,679	>,999
Grosor	2 / 42-44	1,5mm: 2428,40 ; 2mm: 1901,59	5,02	1	,028 *	,059	,600
Tiempo (MR)	2 / 86	T0: 2428,40 ; T180: 2282,50	2,71	1	,104 ^{NS}	-	-
Interacción Tiempo / Material	5/ 26-30-30-26-30-30		0,01	2	,991 ^{NS}	-	-
Interacción Tiempo / Grosor	4 / 42-44-42-44		0,69	1	,410 ^{NS}	-	-

NS = no significativo ($p > ,050$) * Significativo al 5% ** Altamente Significativo a 1%

8.- Análisis de la variabilidad.

Se terminó esta parte del estudio estadístico, analizando también la variabilidad interna de las pastillas de cada grupo, con el test de Levene. Conviene recordar que la coincidencia de resultados entre los test paramétricos y no-paramétricos anteriores, indicaron que esta cuestión no afectó al contraste de las medias. Pero, se encontraron diferencias altamente significativas (al menos con $p < ,01$) en la homogeneidad interna de cada tipo de material.

Tanto en el momento T0 (ver tabla 56) como en el momento T180 (ver tabla 57) las pastillas de los grupos 1 y 3 fueron más homogéneas, no habiendo significación entre ellas ($p > ,05$), que las pastillas de Grupo 2. Éstas presentaron un grado de variabilidad mucho más elevado y por ello significativo ($p < ,05$) con respecto a los otros dos tipos. Los tres grupos aumentaron su variabilidad interna después del termociclado pero, además, la diferencia de homogeneidad comentada se acentuó en T180 ya que ésta apareció con $p < ,01$ tanto en el Grupo 1 como en el Grupo 3.

Tabla 56: Test de homocedasticidad. Comparación de variabilidad intragrupo en T0.

Variable / Material	N	Varianza	Test de Levene						
			Valor	gl	P-sig	Par	Valor	P-sig	
σ_{fm} (MPa)	Grupo 1	26	85,24				G1 – G2	5,25	,026 *
	Grupo 2	30	548,93	6,08	2 ; 83	,003**	G1 – G3	0,62	,434 ^{NS}
	Grupo 3	30	70,14				G2 – G3	7,64	,008**
			NS = no significativo ($p > ,050$)			* Significativo al 5%	** Altamente Significativo al 1%		

Tabla 57: Test de homocedasticidad. Comparación de variabilidad intragrupo en T180.

Variable / Material	N	Varianza	Test de Levene						
			Valor	gl	P-sig	Par	Valor	P-sig	
σ_{fm} (MPa)	Grupo 1	30	157,41				G1 – G2	9,08	,004**
	Grupo 2	30	665,40	8,62	2 ; 87	,000**	G1 – G3	0,11	,747 ^{NS}
	Grupo 3	30	125,68				G2 – G3	10,86	,002**
			NS = no significativo ($p > ,050$)			* Significativo al 5%	** Altamente Significativo al 1%		

COMPRESIÓN

Por indicación de la norma internacional UNE-EN ISO 9917-1: 2007,⁽¹⁷⁷⁾ para estudiar la resistencia a la compresión en T0 se fabricaron **cinco cilindros de muestra por tipo de material**, en total 15 por tanto, que es un número de casos estadísticamente pequeño.

Igual que sucedió en el estudio de la Flexión, fue necesario fabricar otra partida de 15 cilindros (5 de cada material) pues el desencadenante del ensayo de Compresión en T0 fue la destrucción o modificación de la estructura física de cada una de las muestras. Este segundo conjunto de muestras fue sometido a 2.000 ciclos de termociclado y posteriormente, estudiado en la máquina de ensayos de compresión del Laboratorio de Materiales de la UC3M.

1.- Análisis exploratorio y descriptivo previo.

Inicialmente se realizó la exploración y descripción habitual de los datos. En la medida T0 no apareció ningún valor fuera de rango, pero en la medida T180 sí que hubo un dato que estaba marcadamente alejado del resto (*far-out*), por ser menor a todos los demás (es el valor mínimo que aparece reflejado para T180 (ver tabla 58)). En cuanto a la bondad de ajuste con el modelo de la curva normal, se empleó el **Test de Shapiro-Wilk**, específico para cuando se tienen menos de 50 datos, observándose que en T0 había un buen ajuste que presentaba diferencias significativas ($p > 0,05$) con la curva de Gauss, mientras que por el contrario en T180 sí que había un desajuste claramente significativo. Los demás estadísticos descriptivos se resumen en la tabla 58.

Tabla 58: Análisis descriptivo y exploratorio.
Compresión en T0 y T180.

Variable	C - MPa	
	T0	T180
Momento de medida		
N válido	15	15
Media	266,26	225,62
IC 95%	L.Infer	252,57
	L.Sup	279,95
Mediana	267,71	226,96
Mínimo	226,02	177,22
Máximo	314,10	245,86
Desv. Típica	24,72	16,10
Rec. Intercuartil	30,43	11,53
Asimetría	0,407	-2,018
Curtosis	-0,089	5,781
p-valor (test S-W)	,777 ^{NS}	,004**

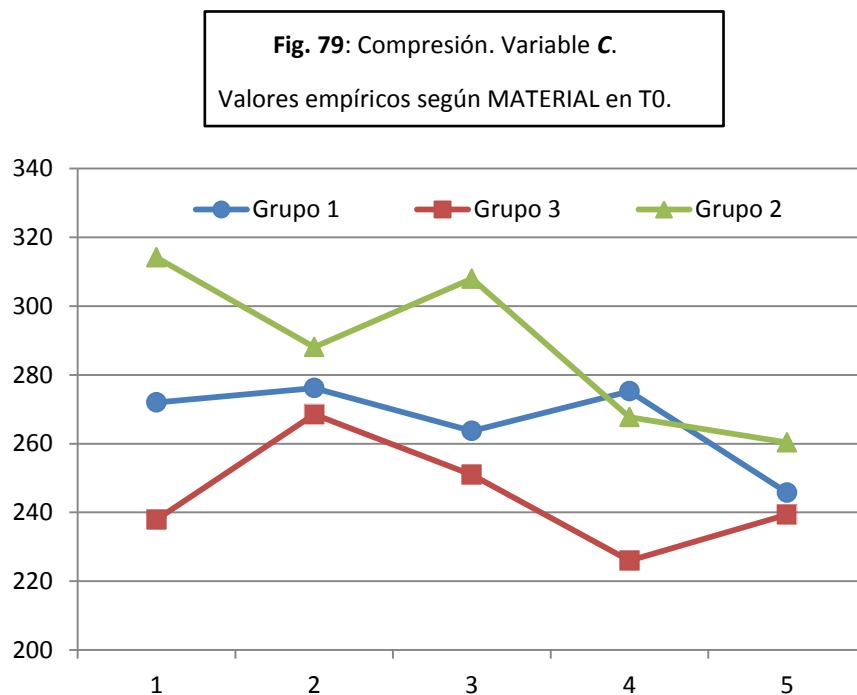
NS = no significativo (p>,050) * Significativo al 5%
desvío leve ** Altamente Significativo al 1%
desvío grave

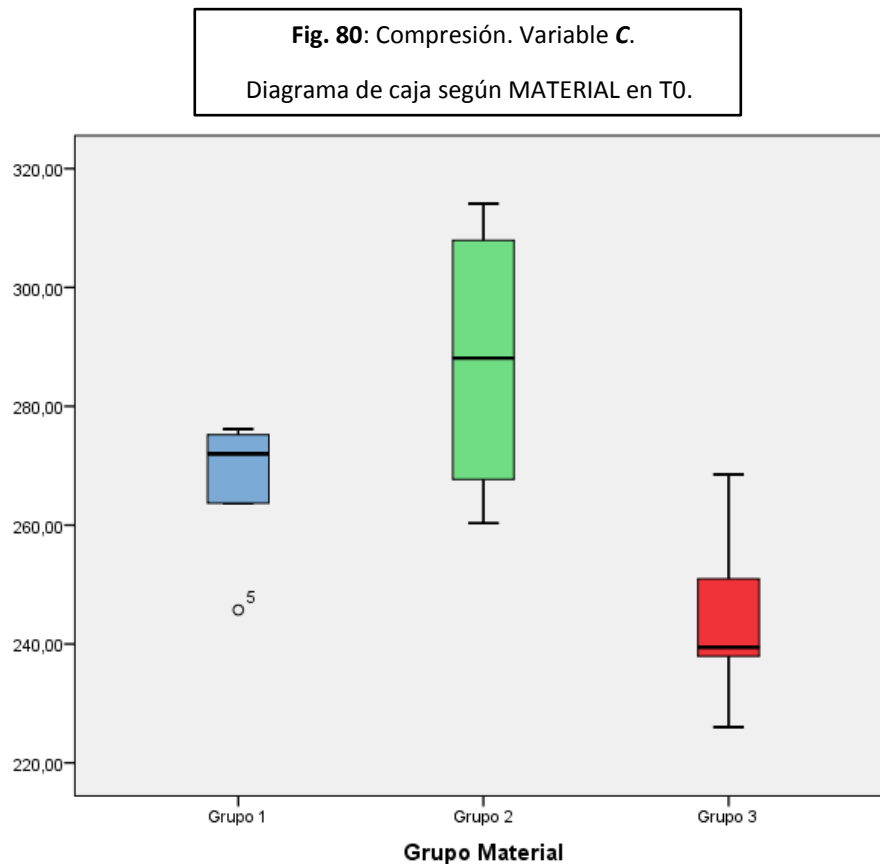
A la vista de esta situación, donde por un lado había una muestra reducida de especímenes, por otro lado había al menos un valor calificado claramente como *outlier* y, además se apreciaron desajustes con respecto al modelo normal, era recomendable que el abordaje estadístico de esta última parte del estudio se realizase exclusivamente desde una perspectiva no-paramétrica, ya que las estrategias paramétricas podrían haber sido débiles. De esta manera, la presencia de ese dato fuera de rango no tuvo interferencia en los resultados, puesto que **se compararon valores de medianas en lugar de las habituales medias aritméticas.**

Para comparar los tipos de materiales entre sí dentro de cada momento temporal (T0 y T180), se emplearon los test de Kruskal-Wallis y de Mann-Whitney. Para la comparación del paso del tiempo dentro de cada tipo de material, se utilizó el Test de Wilcoxon.

2.- Comparación entre materiales en T0.

La fig. 79 representa los valores empíricos obtenidos para C con la ecuación $C = 4p/\pi d^2$ para cada uno de los 5 cilindros distintos que se elaboraron con cada uno de los tres materiales que se compararon. La tendencia general que se observó parecía indicar que en el Grupo 3 aparecieron valores menores que en los otros dos materiales, en especial con respecto a los del Grupo 2. En la fig. 80, donde se presentan comparativamente los diagramas de caja de los tres materiales, las barras negras equivalen a los valores de las medianas de cada serie de datos. Su posición confirma la impresión anterior al respecto de que los valores C del material del Grupo 3 fueron menores que los valores C de los otros dos materiales que entre sí estuvieron bastante más cercanos.





Las medianas respectivas fueron: **Grupo 2 (288,09) > Grupo 1 (272,00) > Grupo 3 (239,43)**. El test de Kruskal-Wallis que comparó los tres grupos simultáneamente detectó la existencia de diferencias que fueron estadísticamente significativas con $p < 0,05$ (ver tabla 59) pero no especificó entre qué materiales se dieron esas diferencias. Para ello, se emparejaron dos a dos los tres materiales y se empleó el test de Mann-Whitney para cada uno de ellos. Los resultados confirmaron la interpretación visual del gráfico, de forma que los valores del Grupo 3 alcanzaron diferencias estadísticamente significativas con $p < 0,05$ con respecto a los otros dos (aunque fuese por escaso margen con respecto al Grupo 1), por lo que tuvo una mediana menor. Por su parte entre los grupos 1 y 2 no hubo diferencias significativas con $p > 0,05$ (ver tabla 59).

Tabla 59: Test de significación. Comparación del Tipo de MATERIAL en T0.

Variable / Material	N	Mediana	Test de Kurskal-Wallis			Test de Mann-Whitney			
			Valor Chi ²	gl	P-sig	Par	Valor Z	P-sig	
C MPa	Grupo 1	5	272,00	6,72	2	,035 ^{NS}	G1 – G2	1,15	,251 ^{NS}
	Grupo 2	5	288,09				G1 – G3	1,98	,047 *
	Grupo 3	5	239,43				G2 – G3	2,19	,028 *

NS = no significativo (p>,050) * Significativo al 5% ** Altamente Significativo al 1%

3.- Comparación entre materiales en T180.

La fig. 81 representa los valores empíricos obtenidos para C, esta vez en T180. La tendencia general que se observó parecía indicar que los valores de los distintos tipos de materiales estaban mucho más cerca entre sí unos y otros, con excepción de un valor, el comentado anteriormente como fuera de rango (*far-out*). De hecho si se observan los valores de las medianas del diagrama de caja (ver fig. 82) se puede comprobar como estos están muy cercanos entre sí, siendo sus valores: 224,55 para el Grupo 1; 233,39 para el Grupo 2 y 228,97 para el Grupo 3.

En esta línea, el resultado del test de K-W, indicó la ausencia de diferencias significativas con $p>,05$ entre los tres tipos de materiales (ver tabla 60), algo que posteriormente se confirmó con las comparaciones por pares que se realizaron con el Test de M-W, donde tampoco hubo significaciones ($p>,05$), aunque es cierto que entre los grupos 1 y 2 estuvieron cerca de aparecer ($p=,076$).

Fig. 81: Compresión. Variable C.
Valores empíricos según MATERIAL en T180.

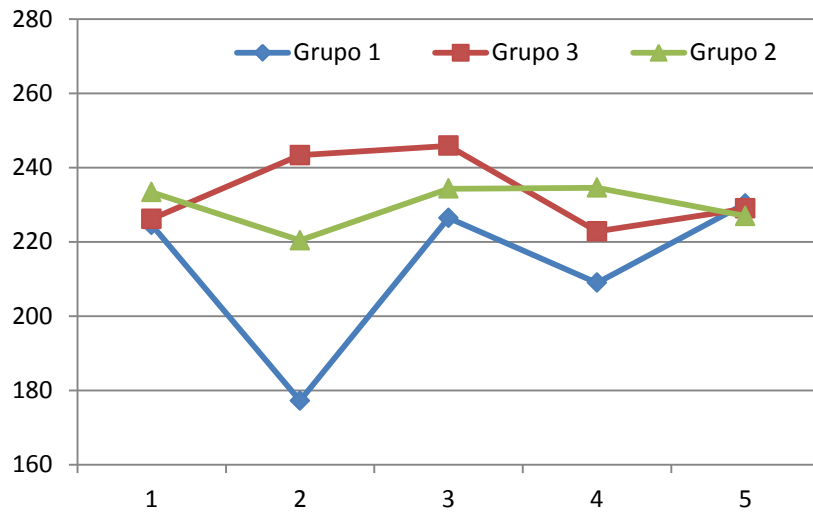


Fig. 82: Compresión. Variable C.
Diagrama de caja según MATERIAL en T180.

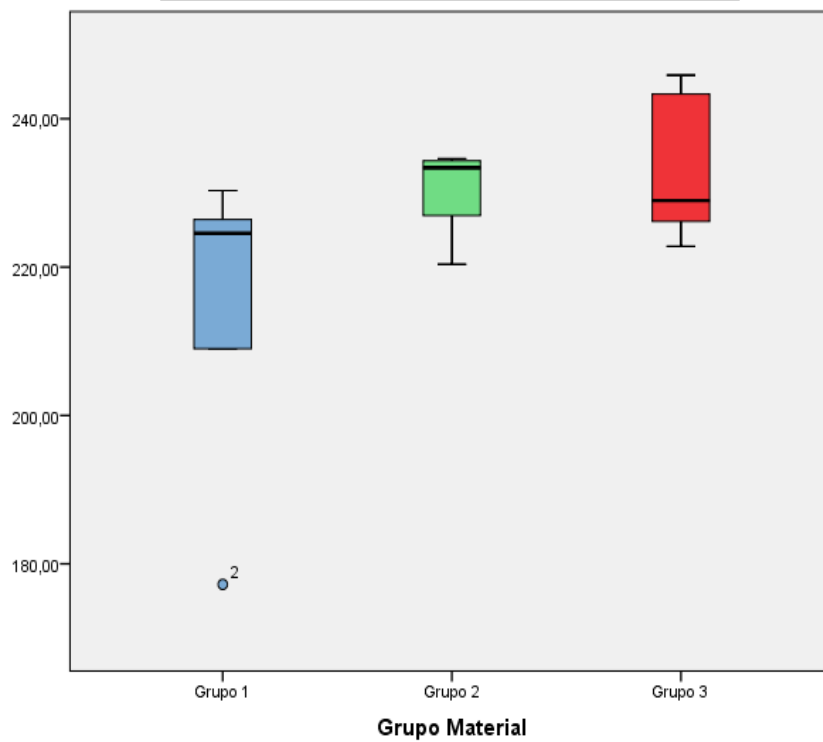


Tabla 60: Test de significación. Comparación del Tipo de MATERIAL en T180.

Variable / Material	N	Mediana	Test de Kurskal-Wallis			Test de Mann-Whitney			
			Valor Chi ²	gl	P-sig	Par	Valor Z	P-sig	
CMPa	Grupo 1	5	224,55			G1 – G2	1,77	,076 ^{NS}	
	Grupo 2	5	233,39	3,38	2	,185 ^{NS}	G1 – G3	1,36	,175 ^{NS}
	Grupo 3	5	228,97			G2 – G3	0,31	,841 ^{NS}	

NS = no significativo (p>,050) * Significativo al 5% ** Altamente Significativo al 1%

4.- Comparación entre tiempos, T0 y T180, para cada tipo de material.

Todos los valores medidos en T180 fueron menores que los valores obtenidos previamente en T0 (ver figs. 83-85). Por ese motivo las medianas fueron siempre menores (ver fig. 86) y las diferencias fueron todas estadísticamente significativas con $p < ,05$ aunque es obvio que el descenso fue mucho menor en el Grupo 3, comparado con los descensos de los otros dos grupos (ver tabla 61).

Tabla 61: Test de significación. Cambios en el TIEMPO, de cada tipo de MATERIAL.

Variable / Material	N	Mediana en T0	Mediana en T180	Test de Wilcoxon		
				Valor Z	P-sig	
CMPa	Grupo 1	5	272,00	224,55	2,02	,043 *
	Grupo 2	5	288,09	233,39	2,02	,043 *
	Grupo 3	5	239,43	228,97	2,02	,043 *

NS = no significativo (p>,050) * Significativo al 5% ** Altamente Significativo al 1%

Fig. 83: Compresión. Variable **C (MPa)**. Valores empíricos del material Grupo 1 en T0 y T180.

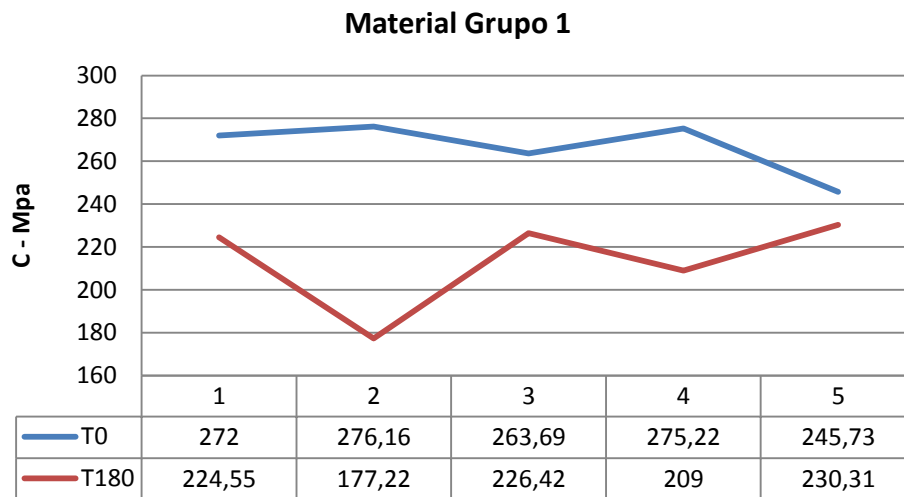


Fig. 84: Compresión. Variable **C (MPa)**. Valores empíricos del material Grupo 2 en T0 y T180.

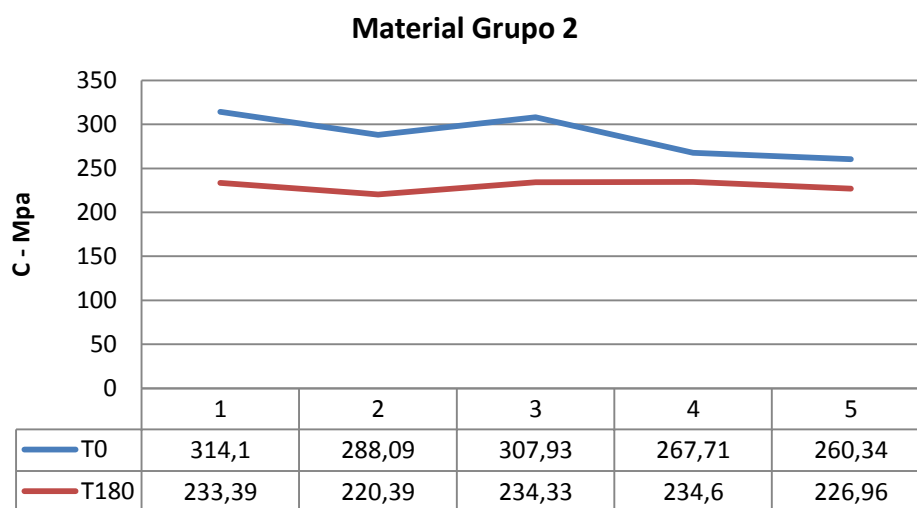


Fig. 85: Compresión. Variable **C (MPa)**. Valores empíricos del material Grupo 3 en T0 y T180.

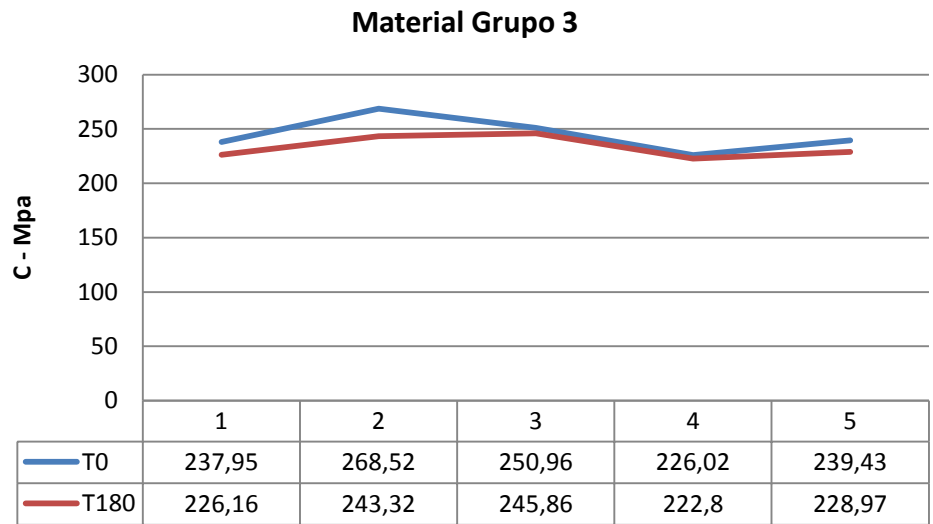
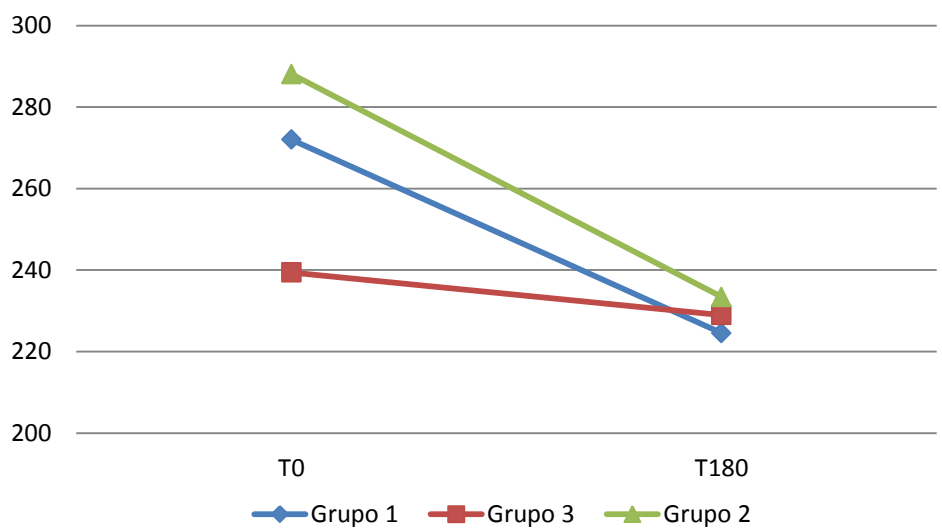


Fig. 86: Compresión. Variable **C (MPa)**. Medianas por TIEMPO y TIPO DE MATERIAL.



V. DISCUSIÓN

En una rehabilitación protésica, la confección de una prótesis provisional reviste una importancia crucial para el éxito de la prótesis definitiva.^(5, 18, 33, 35) Debido a ello, los materiales utilizados para la fabricación de una prótesis provisional parcial fija, dento o implanto-soportada, deben presentar propiedades mecánicas, físicas y estéticas ideales, tales como resistencia a la flexión, resistencia a la fractura, alta estabilidad dimensional, precisión marginal adecuada y alta resistencia a la decoloración.^(15, 18)

A pesar de que el periodo de tiempo que van a alojarse depende de la complejidad del procedimiento, o de si se requiere de otra terapia adicional previa, se debe tener en cuenta, en cualquier caso, que los provisionales de larga duración son muy útiles para poner en prueba nuevas restauraciones y para mejorar la predictibilidad de restauraciones definitivas modificando la forma, la oclusión o su relación con los tejidos gingivales.^(6, 27, 33, 35)

En el mundo actual, dominado por la estética, las restauraciones, especialmente en los sectores anteriores, suponen un reto tanto para el odontólogo como para el técnico de laboratorio; por ello, los provisionales se imponen como opción perfecta.^(6, 12, 33)

Actualmente, la industria ofrece una gran variedad de materiales disponibles, por medio de nuevos productos y del perfeccionamiento de los ya existentes, gracias a lo cual hoy en día la mayoría de los provisionales se pueden confeccionar de forma directa y se pueden conseguir buenos resultados reproducibles.^(5, 15, 35)

Los materiales más comúnmente empleados en la confección de prótesis provisionales pueden clasificarse: en función del tipo de material (resinas acrílicas; resinas compuestas); en función de su sistema de presentación (sistema polvo-líquido; sistema pasta/pasta, basados en resinas bis-acrílicas); y, en función de su tipo de polimerización (autopolimerizables, fotopolimerizables y de polimerización dual);^(5, 6, 27, 35) sin olvidar la tecnología CAD/CAM. Las técnicas CAD/CAM son en la actualidad una de las tecnologías en auge en Odontología. Es por ello que hoy en día se utilizan con grandes expectativas y finalidades los provisionales mediante CAD/CAM. Las siglas CAD/CAM se refieren a la técnica de producción que incorpora los conocimientos

informáticos al diseño y fabricación de piezas, originariamente de ingeniería, pero que se ha extendido a multitud de campos. Aplicado al mundo odontológico, el diseño CAD/CAM constituye una tecnología que nos permite realizar una restauración dental mediante el apoyo informático del diseño y un sistema de mecanizado o fresado automatizado que trabaja a sus órdenes.^(12, 27, 154, 168, 181)

No obstante, en un estudio realizado por Stawarczyk y cols. (2009),⁽¹⁷⁹⁾ donde comparaban la carga de rotura de las estructuras provisionales de los puentes realizados mecánicamente a base de resina con prótesis provisionales y prótesis provisionales directas; no mostraron una postura tan clara a favor de las restauraciones provisionales mediante CAD/CAM, ya que los valores que obtuvieron fueron similares al resto de prótesis provisionales.^(12, 179)

Para el desarrollo del presente proyecto de investigación se seleccionaron tres materiales, todos ellos del color A3, por ser uno de los más comúnmente usados en Odontología:^(27, 99) Structur® 3 (VOCO), Protemp™ 4 (3M ESPE) y Unifast III (GC). Los dos primeros son resinas bis-acríticas, autopolimerizables, en formato pasta/pasta. El tercero y último es una resina acrílica, autopolimerizable, presentada en formato polvo/líquido.

En el ámbito de las resinas bis-acríticas pasta/pasta, los fabricantes apuestan cada vez más por un aplicador adaptado en forma de jeringa. Únicamente los sistemas de cartuchos pueden garantizar por completo una mezcla perfectamente homogénea y carente de burbujas.^(5, 35)

En la **elaboración de las muestras** se cuidó especialmente que todas ellas tuvieran unas dimensiones y características superficiales similares. Para el estudio de la estabilidad cromática, la fluorescencia, la dureza y la flexión, se fabricaron unos portamuestras de metacrilato que permitieron preparar “pastillas” de material homogéneo y de dimensiones 35 mm x 10 mm x 1,5 mm y 35 mm x 10 mm x 2 mm. Los dos grosores diferentes permitieron reproducir el espesor mínimo de material necesario en prótesis fija y, por consiguiente, la profundidad de tallado mínima

necesaria en zonas incisales/oclusales, 1,5 mm-2 mm, según los principios de Shillenburg.⁽⁶⁾ Así como también se fabricaron portamuestras de acero inoxidable que facilitaron la preparación de los cilindros de material necesarios para llevar a cabo el ensayo de compresión de los materiales: 4 mm de \varnothing y 6 mm de altura, según los patrones de diseño indicados en la norma UNE-EN ISO 9917-1.⁽¹⁷⁷⁾

Es importante también conocer que en el presente trabajo no se utilizó ninguna técnica de pulido de las resinas. Para conseguir la mayor **uniformidad** posible **en el acabado superficial** de todas las muestras, se colocó, al igual que propusieron autores como Roberts et al. (2009);⁽¹⁴⁵⁾ Catelan et al. (2010);⁽¹⁴⁴⁾ Ruttermann et al. (2010)⁽¹⁶⁹⁾ y Tuncer et al. (2013),⁽¹²⁷⁾ en sus diferentes estudios sobre resinas, una matriz de acetato sobre cada una de las superficies de cada “pastilla” elaborada, previamente a la polimerización del material.

Almacenamiento de las muestras: Nakazawa M (2009),⁽⁹⁵⁾ almacenó las muestras de resina en seco, en una incubadora a 37 °C, 24 h antes de realizar las mediciones colorimétricas correspondientes. En cambio, autores como Roberts et al. (2009);⁽¹⁴⁵⁾ Catelan et al. (2010);⁽¹⁴⁴⁾ Ruttermann et al. (2010);⁽¹⁶⁹⁾ Hahnel et al. (2010);⁽¹⁴⁷⁾ Sabatini et al. (2012)⁽⁹⁹⁾ y Tuncer et al. (2013),⁽¹²⁷⁾ optaron por diferentes medios (agua, saliva artificial, agua destilada) para obtener una humedad cercana al 100 % durante el tiempo que permanecieron las muestras almacenadas en sus respectivos estudios. En la presente Tesis Doctoral se empleó **saliva artificial**, como medio de almacenamiento, y un **horno de cultivo**, para mantener las muestras en oscuridad, a una temperatura constante de **37 °C** y bajo condiciones de **humedad del 100 %**. Ésta es una de las formas más frecuentemente empleadas en trabajos recientes en este campo, para poder reproducir así de una forma más cercana las condiciones habituales de la cavidad oral; aunque uno de los principales inconvenientes es el hecho de que no haya un protocolo único estandarizado sobre los componentes y/o formulación de la saliva artificial en estudios *in vitro* sobre análisis de materiales, lo cual hace que diferentes salivas artificiales puedan provocar resultados diferentes.^(147, 158) Todavía es necesario hallar la formulación de saliva artificial que más se parezca a la saliva humana.⁽¹⁵⁸⁾

Si algo tienen en común la gran mayoría de los autores consultados, es en el método empleado en la medición del color y la fluorescencia. Ishikawa-Nagai et al. (2010),⁽⁹⁷⁾ Corcodel et al. (2010),⁽⁷⁹⁾ Khashayar et al. (2012),⁽⁸⁶⁾ Tuncer et al. (2013),⁽¹²⁷⁾ Olms and Setz (2013),⁽¹¹¹⁾ Schmeling et al. (2014),⁽⁷⁵⁾ Gómez-Polo et al. (2015)⁽⁶³⁾ entre otros, coincidieron en destacar el **espectrofotómetro** el método objetivo más adecuado para la toma de color en Odontología, dada su elevada **objetividad, fiabilidad, precisión y reproductibilidad** en el tiempo y por distintos operadores.^(15, 62, 63, 66, 75, 76, 79, 86, 97, 111, 120, 127, 137)

La **fluorescencia** (luminiscencia que tiene lugar cuando la energía es suministrada por la radiación electromagnética; normalmente por luz ultravioleta)^(27, 41, 140) es, aparte del color, la forma y la textura superficial, otro parámetro que puede influir en la integración óptica de una restauración. La fluorescencia no solo es importante cuando la muestra se observa bajo una luz UV sino también para producir en el diente un efecto de luminosidad cuando se observa éste a la luz del día.^(27, 120, 137, 138, 140) Sin embargo, a pesar de ser una característica óptica fundamental de los dientes naturales y de existir numerosos estudios sobre fluorescencia en dientes naturales y en porcelana, hay pocos estudios sobre evaluación de la fluorescencia de resinas compuestas y, en mucha menor medida, de resinas acrílicas o bis-acrílicas.^(27, 120) Aunque, afortunadamente, cada vez se le va dando más importancia a esta característica que poseen los materiales usados en estética dental.^(41, 137)

Lefever et al. (2010),⁽¹²⁰⁾ y Sant'Anna et al. (2007),⁽¹³⁸⁾ propusieron el uso del espectrofotómetro para el estudio de la fluorescencia por ser un método objetivo y poder con él cuantificar todos los datos. Instrumento de medida también propuesto por Jablonski et al. (2014)⁽¹⁴¹⁾ y por Meller and Klein (2012)⁽¹⁴⁰⁾ para el estudio de la fluorescencia *in vitro*.

En el presente proyecto de investigación, tanto para el estudio de la estabilidad cromática como para el estudio de la fluorescencia, se utilizó el espectrofotómetro VITA Easyshade® Compact, calibrado según instrucciones del fabricante.^{(62, 63, 66, 76, 78,}

115, 120, 127, 128, 138, 141) Cada muestra (no se dejó cada muestra más de 2 minutos fuera del medio de almacenamiento para evitar su deshidratación)⁽¹²⁰⁾ fue medida en **tres** ocasiones consecutivas, calculándose posteriormente la media aritmética de esas tres mediciones,^(15, 75, 76) con objeto de minimizar el posible error de medida del instrumento y garantizar la fiabilidad de las medidas.

Los estudios no incluyen información acerca de la frecuencia de calibración del espectrofotómetro. Olms and Setz (2013)⁽¹¹¹⁾ recogieron en su estudio que intervalos cortos de calibración (cada cinco disparos) tuvieron un impacto positivo en la repetibilidad de los datos de medición. Anteriormente, autores como Ozturk (2008)⁽¹¹⁸⁾ y Celik (2008)⁽⁷¹⁾ hablaron de intervalos de calibración cada diez mediciones para el espectrofotómetro Vita Easyshade®. Pero, un año más tarde, el estudio de Olms et al. (2009)⁽¹¹⁹⁾ ya mostró como más acertados los intervalos de calibración cada cinco mediciones. Así se llevó a cabo en el presente proyecto.

A la hora de realizar estudios sobre el color y la fluorescencia, es importante tener en cuenta la necesidad de emplear un espacio o cabina que disponga de unas determinadas características para que todo el ensayo pueda realizarse bajo las mismas condiciones ambientales. Saleh A. (2006)⁽⁵²⁾ en su Tesis Doctoral utilizó una cabina de iluminación que disponía de cuatro fuentes luminosas, siendo una de ellas una lámpara fluorescente de espectro visible cercano al de la luz de día. Vichi et al. (2004)⁽⁹⁶⁾ hicieron uso de un fondo gris (color considerado como neutro ($L^*= 50$) por la Comisión Internacional de la Iluminación (*Commission Internationale de l'Éclairage*) (CIE),^(63, 66, 79, 107) que colocaban inmediatamente detrás de las muestras que se disponían a medir. Nakazawa M (2009)⁽⁹⁵⁾ y Lefever et al. (2010),⁽¹²⁰⁾ también hicieron uso de diferentes fondos pero esta vez de color blanco o negro.

Según detallaron Lefever et al. (2010)⁽¹²⁰⁾ en su estudio, el análisis colorimétrico de un diente natural y de un material de restauración varía en función de si el fondo utilizado es de color blanco o negro. Las muestras estudiadas sobre fondo negro presentaron valores de L^* y b^* más bajos que los observados sobre fondo blanco. Sin embargo, los valores de a^* fueron mayores. Para lograr que un material actúe ópticamente como un

diente natural, el autor sugirió que los fabricantes se centrasen en mejorar los valores de a^* sobre fondo negro.⁽¹²⁰⁾

En el presente proyecto de investigación se utilizó una **cámara neutra** de paredes grises y opacas ($L^*= 50$), para poder realizar todas las mediciones colorimétricas bajo una misma situación ambiental. Para llevar a cabo las mediciones colorimétricas, cada muestra se colocó de manera individual sobre un soporte de acero inoxidable.^(66, 75) Dicho soporte fue a su vez situado en el centro de una cámara neutra o cabina opaca de paredes grises. Como ya quedó indicado anteriormente, se empleó el espectrofotómetro VITA Easyshade® Compact.

En este trabajo se realizaron mediciones cromáticas 24 h después de la elaboración de las muestras (T0), y después de someter las muestras a un proceso de envejecimiento artificial acelerado (T180).

Existe gran controversia en la literatura acerca del método más adecuado para lograr un proceso de envejecimiento artificial acelerado. Uno de los procedimientos más ampliamente utilizado e internacionalmente aceptado para la simulación del envejecimiento de los biomateriales en la práctica clínica es el **termociclado**. El termociclado es un sistema o procedimiento que combina la degradación hidrolítica y térmica, mediante el empleo de cambios bruscos de temperatura, bajo unas condiciones de humedad cercanas al 100 %.^(5, 54, 66, 127, 141, 193) En el termociclado hay tres factores fundamentales: temperatura, tiempo de permanencia y número de ciclos.^(54, 66, 141, 193)

En el artículo de revisión bibliográfica publicado por Morresi et al. (2014)⁽⁵⁴⁾ en la revista Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials, sus autores buscaron un protocolo estandarizado sobre el termociclado y, para ello, llevaron a cabo la evaluación de artículos publicados entre los años 1998 y Agosto 2013. Se identificaron 193 estudios experimentales relevantes. Solo 23 seguían fielmente la normativa ISO. La mayoría de los estudios utilizaban su propio procedimiento, existiendo solo consenso o unanimidad en el parámetro de la temperatura (5 °C-55 °C), y una gran variabilidad en el número de ciclos y el tiempo de permanencia empleado. Por ello, se dificulta la comparación entre los diferentes estudios.

Se requieren estudios a largo plazo para establecer un protocolo de termociclado adecuado que reproduzca lo mejor posible las condiciones de la cavidad oral.⁽⁵⁴⁾

En el presente proyecto de investigación se empleó una máquina de termociclado para llevar a cabo el envejecimiento artificial de las muestras. De los tres factores fundamentales, citados anteriormente: temperatura, tiempo de permanencia y número de ciclos; se utilizó el régimen 5 °C-55 °C propuesto por ISO 11405 (Temperaturas suficientemente extremas para proporcionar una simulación representativa de las fluctuaciones térmicas que tienen lugar *in vivo*); 30 s como tiempo de permanencia en cada baño (con periodos de tránsito entre uno y otro de 15 s); y 2.000 como número de ciclos, por ser estos los valores que se registraron con mayor medida en el trabajo publicado por Morresi et al. (2014).^(54, 141)

No hay aún estudios que asocien un número de ciclos de termociclado por unidad de tiempo *in vivo*.⁽⁵⁴⁾

Estudio de la estabilidad cromática

Se evaluaron los cambios cromáticos de tres resinas utilizadas en prostodoncia para la confección de provisionales mediante técnica directa. Además de evaluar el comportamiento de la estabilidad del color de los tres materiales, este estudio, al igual que hicieron autores como Sabatini et al. (2012),⁽⁹⁹⁾ pretendió también tratar y aislar las variables que puedan ser responsables de cambios cromáticos observados: después de la polimerización de los materiales, después del almacenamiento de las muestras bajo condiciones de humedad del 100 % o después del paso del tiempo.

Al igual que hicieron Sabatini et al. (2012)⁽⁹⁹⁾ en su estudio llevado a cabo en el Departamento de Odontología Conservadora de la Facultad de Odontología de Buffalo (NY), en Estados Unidos, se fabricaron muestras de dos grosores diferentes (1,5 mm y 2 mm) con el fin de evaluar también si el grosor es un factor que genere o no cambios significativos en las variables L^* , C^* , h° , a^* y b^* . Debemos recordar que el color se describe en términos de sus tres coordenadas L^* , a^* y b^* ; o, L^* , C^* y h° , según el sistema de medición empleado.^(63, 66, 75, 76, 79, 111)

Comparando el momento T0 con T180 en el estudio de toda la muestra completa (N=90), se observó que los valores de las variables L^* , C^* y b^* presentaron, en T0, un buen ajuste al modelo de la campana de Gauss, con $p > 0,05$ y un desajuste leve/tolerable en T180, con $p > 0,01$. En cambio, los valores de las variables h° y a^* presentaron un claro desvío, tanto en T0 como en T180, con $p < 0,001$.

Sabatini et al. (2012),⁽⁹⁹⁾ obtuvieron como conclusiones de su estudio sobre resinas compuestas que inmediatamente después de la polimerización de los materiales, los cambios cromáticos que experimentaba una resina se producían por los parámetros L^* y b^* siendo los valores de estos, al inicio, negativos o más bajos; es decir, si recordamos la esfera con la cual se representa el espacio cromático CIEL^{*} a^*b^* ,^(66, 75, 76, 88, 107) valores más oscuros y más azules, respectivamente. En cambio, pasadas 24 horas, los valores de L^* y b^* resultaron ser mayores, más positivos; es decir, más claros y amarillos. Las muestras se volvieron más saturadas.⁽⁹⁹⁾

En nuestro proyecto de investigación no se hicieron registros antes de las 24 h pero sí cabe resaltar que los datos obtenidos, pasadas 24 h, para esas dos variables (L^* y b^*) siempre fueron positivos, para los dos grosores y para los tres materiales estudiados. Siempre se situaron en las coordenadas del blanco ($+L^*$) y amarillo ($+b^*$).

Como parte del estudio de la estabilidad cromática, se compararon los tres tipos de materiales, en variables cuantitativas, para evaluar si existía o no diferencia entre materiales en origen (T0) y después de someter las muestras a un proceso de termociclado (T180). Todas las variables estudiadas (L^* , C^* , h° , a^* y b^*) presentaron diferencias altamente significativas, con $p < 0,001$ y una potencia muy elevada ($> 0,999$). Por tanto, las diferencias entre los grupos (Grupo 1, Grupo 2 y Grupo 3) son grandes.

En T180 se mantuvo el mismo orden de los materiales que había en T0, con diferencias altamente significativas entre ellos ($p < 0,001$) excepto en las variables C^* y b^* donde, a pesar de tener el mismo orden de los grupos que en T0, ya no hay diferencias significativas ($p > 0,05$) entre los Grupos 1 y 2. Estos hallazgos obtenidos en nuestro proyecto se asemejan a los obtenidos por otros autores⁽⁹⁹⁾ en sus estudios sobre cambios cromáticos de resinas: el cambio cromático es dependiente del tipo de material y, adelantaban ellos, del grosor de la resina estudiada. Según apuntaron

también Güth et al. en su estudio (2013),⁽²⁷⁾ el grosor del material estudiado tiene una influencia significativa sobre la transmisión de luz.

Investigadores como Gonçalves R. en su Tesis Doctoral (2009),⁽¹⁵⁾ obtuvieron valores de L^* de entre 68 y 73 unidades, al estudiar la estabilidad cromática de tres resinas acrílicas utilizadas para restauraciones provisionales.

Para estudiar si la combinación de los dos factores, material y grosor, generaba o no cambios significativos en las variables L^* , C^* , h° , a^* y b^* , se utilizó la prueba estadística ANOVA de dos factores. Se observó que el comportamiento de las variables L^* , C^* y b^* fue muy similar, tanto en T0 como en T180. En ellas hubo un efecto significativo del grosor ($p < 0,001$): la media de las pastillas de 1,5 mm de grosor fue mayor que la media de las pastillas de 2 mm de grosor, en cualquiera de los tres materiales. En cambio, la interacción material-grosor, o bien mostró un tamaño del efecto leve, es decir, diferencias de poca magnitud, o bien no mostró efecto significativo (con $p > 0,05$), por lo que la diferencia se produjo de la misma manera en todos los grupos de materiales.

Sabatini et al. (2012),⁽⁹⁹⁾ hallaron que las muestras de mayor grosor (3 mm en su estudio) fueron las que experimentaron cambios cromáticos mayores que las de menor grosor (1 mm de grosor en su caso), durante las primeras 24 h. Al mes no observaron cambios entre los dos grosores. Los resultados de este autor difieren de los de Arikawa H. quien halló más cambio cromático en las muestras de menor grosor.

Al añadir el tiempo como variable, se obtuvo una perspectiva multivariante. El mayor interés de esta técnica estuvo en la observación de la interacción del tiempo con el tipo de material, que determinó si los tres tipos de materiales evolucionaron igual. En el material del Grupo 1 y en el material del Grupo 3 se observó que la variable L^* fue la que permaneció más estable. En ella no se observaron cambios significativos ($p > 0,05$) debidos al paso del tiempo. El resto de las variables sí presentaron cambios así como también se encontraron diferencias significativas en todas las variables (L^* , C^* , h° , a^* y b^*) del material del Grupo 2.

Recordábamos anteriormente que el color se describe en términos de coordenadas. Pero, la descripción CUANTITATIVA de los cambios cromáticos que puede

experimentar un material se realiza mediante el estudio del ΔE^* . Según la inmensa mayoría de los estudios publicados sobre cambios cromáticos en materiales de uso odontológico, **un valor de $\Delta E^* \geq 3,3$ se considera clínicamente inaceptable.** (66, 75, 95, 97, 99, 111, 113, 127)

Tuncer et al. (2013),⁽¹²⁷⁾ en su estudio publicado sobre resinas compuestas sometidas a 10.000 ciclos de termociclado (con cambios térmicos de 5 °C-55 °C y 30 s de tiempo de permanencia en cada una de las cubas), obtuvieron cambios cromáticos del rango de 1,1-3,43 unidades de ΔE^* , si se comparaba el momento inicial de la toma de color de las muestras con la toma de color después de someter las muestras a un proceso de termociclado. Lee SH y Lee YK (2008),⁽¹⁰³⁾ evaluaron la estabilidad cromática de tres tipos de resinas del color A2 y, después de someter las muestras a un proceso de 5.000 ciclos de termociclado, se hallaron valores de ΔE^* entre 1,6 y 2,3 unidades.

Según nuestro propio proyecto de investigación, el mayor valor de ΔE^* , al comparar el momento inicial de la toma de registros (T0) con el momento T180 (después del envejecimiento artificial acelerado), se obtuvo en las pastillas de 2 mm de grosor del Grupo 1 (3,95 unidades), mientras que el menor valor de ΔE^* registrado se obtuvo en las pastillas de 1,5 mm de grosor de ese mismo Grupo 1 (2,16 unidades).

Los valores de ΔE^* de los otros dos grupos (Grupos 2 y 3) estuvieron próximos entre sí:

-Grupo 2, muestras de 1,5 mm de grosor: 2,70 unidades de ΔE^* .

-Grupo 2, muestras de 2 mm de grosor: 2,48 unidades de ΔE^* .

-Grupo 3, muestras de 1,5 mm de grosor: 2,28 unidades de ΔE^* .

-Grupo 3, muestras de 2 mm de grosor: 2,88 unidades de ΔE^* .

Por consiguiente, según lo estudiado, las únicas muestras que presentaron un valor de ΔE^* ligeramente superior al valor clínicamente aceptado en Odontología, fueron las pastillas de 2 mm de grosor del Grupo 1 (3,95 unidades).

Aún no se han encontrado estudios relevantes sobre envejecimiento artificial en resinas acrílicas y/o bis-acrílicas pero, en caso de presentar un comportamiento físico similar a las resinas compuestas, se podría decir que, numerosos estudios confirman

que el envejecimiento artificial va acompañado de una disminución de las propiedades físico-mecánicas de las resinas dentales. Al parecer, tiene más influencia la duración del envejecimiento y el material en sí que el propio medio donde se lleva a cabo el envejecimiento artificial.⁽¹⁴⁷⁾

En el trabajo publicado por Goiato et al. (2010)⁽¹¹³⁾ sobre envejecimiento artificial de resinas acrílicas empleadas en prostodoncia, quedó reflejado que las resinas experimentaron un aumento significativo del valor de ΔE^* después del proceso de envejecimiento artificial que llevaron a cabo (alternaron periodos con exposición a luz ultravioleta con periodos donde las muestras estaban sumergidas en agua destilada). Años más tarde, Goiato et al. (2014)⁽⁶⁹⁾ describieron cambios cromáticos de las resinas acrílicas estudiadas, como consecuencia de la absorción y la adsorción acuosa a la que habían sido sometidas durante el termociclado (5.000 ciclos, 5 °C-55 °C, 30 s).

En este proyecto también se llevó a cabo el análisis de la variabilidad de las muestras para comprobar el grado de homogeneidad o heterogeneidad que presentaban las muestras de los diferentes materiales. El Grupo 2 fue el que presentó mayor homogeneidad interna y el Grupo 3 el que presentó mayor variabilidad interna de las muestras. Una de las hipótesis que se barajaron para intentar explicar la menor homogeneidad interna de las muestras del Grupo 3 radica en la forma de presentación y manipulación del material. Recordemos que el material del Grupo 3 es una resina acrílica, autopolimerizable, cuya presentación en formato polvo/líquido puede dificultar la obtención de una mezcla perfectamente homogénea y carente de burbujas, si se compara con los sistemas de cartuchos.

En T0, excepto en la variable L^* , en todas las demás variables las muestras del Grupo 3 presentaron más variaciones entre unas pastillas y otras que las muestras de los otros dos materiales. Siendo algunas de estas diferencias significativas.

En T180, aunque la varianza del material del Grupo 3 siguió presentando la mayor varianza en todas las variables, únicamente en a^* continuó manteniendo la diferencia significativa, aunque solo con $p < 0,05$.

Con el paso del tiempo (de T0 a T180), se observó que el material del Grupo 1 se fue haciendo mucho más homogéneo entre sí; es decir, las pastillas del Grupo 1 en T180 presentaron una homogeneidad aún más elevada con respecto a las mismas pastillas en T0; y aparecieron diferencias significativas con respecto a los otros dos materiales estudiados. Los Grupos 2 y 3 mantuvieron una homogeneidad/variabilidad similar en T180 respecto a la que tenían en T0.

Estudio de la fluorescencia

Para medir la fluorescencia de los tres materiales estudiados, se empleó una cabina opaca con luz ultravioleta, que produce una luz comúnmente denominada “black light”.^(27, 137) Y, al igual que para la toma de color, se empleó el espectrofotómetro VITA Easyshade® Compact, calibrado.^(120, 138, 140, 141)

Según Lefever et al. (2010),⁽¹²⁰⁾ la fluorescencia de un material de restauración puede evaluarse mediante métodos ópticos, visuales, en comparación con la estructura del diente adyacente en una escala de 0 a 10 (0= integración óptica escasa; 10= óptima integración óptica); mediante comparaciones de fotografías;^(27, 137) o puede evaluarse de manera objetiva y cuantitativa utilizando la misma fórmula de Pitágoras empleada para el estudio de la estabilidad cromática.^(75, 76, 120, 138, 140, 141)

$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{[(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]}$$

De la misma forma que en la propiedad anterior, y debido a que en cada medición se efectuaron **tres** disparos consecutivos con el espectrofotómetro, en primer lugar se procedió a calcular la media aritmética de dichos valores observados. Los resultados de los primeros análisis revelaron la existencia de valores marcadamente atípicos en algunas de las variables relacionadas con la fluorescencia. Una vez revisados los datos y descartados errores de transcripción, en previsión de que se pudiese tratar de un error en la calibración del espectrofotómetro y de ahí valores alterados, se decidió eliminar para el estudio de esta propiedad a dos pastillas con sus dos grosores y evitar así su efecto distorsionador sobre los estadísticos. En consecuencia, el N total para esta propiedad se redujo de 90 a 86 muestras.

Como parte del estudio de la fluorescencia, se compararon los tres tipos de materiales, en variables cuantitativas, para evaluar si existían o no diferencia entre materiales tanto en T0 como en T180. Todas las variables estudiadas (L^* , C^* , h° , a^* y b^*) presentaron diferencias altamente significativas con $p < 0,001$ y una potencia muy elevada ($> 0,999$). Por tanto, al igual que sucedía en el estudio de la estabilidad cromática, las diferencias entre los tres grupos fueron grandes. Pero, curiosamente, no solo las diferencias entre los tres grupos continuaron siendo grandes sino que además, estos, siguieron exactamente la misma distribución que tenían en el estudio de la estabilidad cromática, tanto en T0 como en T180:

En T0:

Variable L^* : Grupo 3 > Grupo 2 > Grupo 1

Variable C^* : Grupo 2 > Grupo 1 > Grupo 3

Variable h° : Grupo 2 > Grupo 1 > Grupo 3

Variable a^* : Grupo 3 > Grupo 1 > Grupo 2

Variable b^* : Grupo 2 > Grupo 1 > Grupo 3

En T180:

Variable L^* : Grupo 3 > Grupo 2 > Grupo 1

Variable C^* : Grupo 2 > Grupo 1 > Grupo 3

Variable h° : Grupo 2 > Grupo 1 > Grupo 3

Variable a^* : Grupo 3 > Grupo 1 > Grupo 2

Variable b^* : (Grupo 2 > Grupo 1) > Grupo 3

En esta última variable (b^*), la diferencia en el par entre los Grupos 1 y 2 ya no fue significativa ($p > 0,05$).

Teniendo en cuenta el tiempo como un factor de medidas repetidas, en los tres grupos se produjo un aumento del valor numérico de la variable L^* , pero sin existir diferencias

estadísticamente significativas ($p > 0,05$) en la variable L^* del Grupo 1 (de 71,73 unidades en T0 a 71,67 unidades en T180). En la variable L^* de los demás grupos sí hubo diferencias significativas. El mayor valor de L^* fue registrado en el Grupo 3 en T180 (78,11 unidades), seguido por el Grupo 3 en T0 (77,30 unidades). El Grupo 2 presentó valores intermedios de L^* (74,87 en T0 y 75,86 en T180). Todos ellos, valores positivos, más cercanos a la claridad/luminosidad que a la oscuridad.

Rey et al. (2012),⁽¹³⁷⁾ en su estudio *in vivo*, expusieron que el elemento **valor** (L^*) afectó a la fluorescencia de la inmensa mayoría de los composites estudiados en su proyecto. Además, concluyeron que a mayor cifra de **valor** (L^*), mayor fue la fluorescencia registrada por la resina compuesta; dato que coincide con el registrado por Gamborena y Blatz (2011),⁽⁴¹⁾ aunque al no especificar las cifras de L^* obtenidas son datos que deberían ser manejados con cautela. Por el contrario, en el presente proyecto de investigación el registro más elevado de **valor** (L^*) lo obtuvo el material del Grupo 3, siendo éste el que presentó los resultados más pobres de fluorescencia visualmente medible. En el estudio de ΔE^* , el material del Grupo 3 tampoco fue el que obtuvo los mejores resultados. Recordemos que en odontología estética, para que un material sea considerado como clínicamente aceptable, debe tener un $\Delta E^* \leq 3,3$ unidades. Debido a ello, al ser el ΔE^* en el Grupo 3 mucho mayor que en los otros dos grupos, y mayor en el Grupo 2 que en el Grupo 1, y a pesar de que el Grupo 3 fue el que obtuvo el dato más elevado de **valor** (L^*), podría considerarse emisor de una fluorescencia inadecuada para un material odontológico.

Añadiendo al estudio la variable grosor; los grupos 1 y 2 muestran valores de ΔE^* similares. En el Grupo 3, la media de las muestras de 1,5 mm (7,16) fue mucho más alta que la media del grosor de 2 mm (4,42).

En cuanto al estudio del ΔE^* : Grupo 3 > Grupo 2 > Grupo 1

Grupo 3: 7,16 unidades para las muestras de 1,5 mm. 4,42 para las de 2 mm de grosor.

Grupo 2: **3,23** unidades para las muestras de 1,5 mm. 3,53 unidades para las de 2 mm.

Grupo 1: **1,45** unidades para las muestras de 1,5 mm. **1,76** unidades para las de 2 mm de grosor.

El único grupo cuyo valor permaneció en su totalidad por debajo de las 3,3 unidades clínicamente aceptadas, fue el Grupo 1.

Al analizar la variabilidad interna de las muestras, de nuevo sucedió algo similar a lo obtenido en el estudio del color. En las muestras del Grupo 3 es donde apareció más variabilidad interna, significativamente más alta que la de los grupos 1 y 2, tanto en T0 como en T180. Dicha heterogeneidad del Grupo 3 pudo ser debida, posiblemente, al distinto método de mezclado del material.

En T0, el Grupo 1 fue el que presentó más homogeneidad interna. En T180 se obtuvo gran homogeneidad en los Grupos 1 y 2, quienes entre sí no presentaron diferencias significativas, con excepción de la variable α^* donde sí las hubo debido a que los valores del Grupo 1 fueron extremadamente semejantes entre sí.

Estudio de la microdureza Knoop

La dureza se define como la resistencia que ofrece un material a la penetración o a la indentación permanente de su superficie. Es una propiedad fundamental que determina el grado de deformación de un material. Unos valores de dureza bajos están relacionados con una insuficiente resistencia al desgaste, lo que puede comprometer la resistencia a la fatiga y conducir al fracaso de la restauración.^(49, 127, 145)

Para el ensayo de la dureza se siguieron las directrices de las normas UNE-EN ISO 4545 1-4: 2005^(157, 190-192) y se utilizó el sistema Knoop por acomodarse mejor al tipo de material empleado. Para esta parte del proyecto, además de la máquina de ensayos universal Zwick/Roell, se empleó un penetrador del sistema Knoop, previamente calibrados.

Como en los estudios de la estabilidad cromática y la fluorescencia, se dispuso de 90 pastillas, 30 de cada grupo de material, 15 de cada grosor. Todas ellas fueron medidas en T0 y después de un proceso de termociclado (T180).

Hasta el inicio de las mediciones (T0), todas las muestras tuvieron las condiciones de almacenamiento de estudios como el de Roberts et al. (2009);⁽¹⁴⁵⁾ en oscuridad, en una

incubadora, bajo condiciones de humedad próximas al 100 %. Las mediciones de dureza Knoop de dicho estudio fueron llevadas a cabo con una máquina de ensayo de microdureza, empleando cargas de 100 g durante 10 s. Las mediciones de dureza se realizaron cerca de la parte central de cada espécimen, a 1 mm de uno de los bordes.

En el presente proyecto de investigación, el ensayo de la microdureza se llevó a cabo en condiciones ambientales ($20\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$); y, según viene designada en las normas UNE-EN ISO 4545 (1-4): 2005,^(157, 190-192) la fuerza aplicada sobre cada probeta fue de 9,807 N y el tiempo que se mantuvo la fuerza de ensayo, 10 s. Se realizó una indentación en el centro de una de las caras de la probeta (a 1 mm de uno de los extremos). La huella obtenida (paralelogramo, rombo), se observó al microscopio y se midió el valor de la diagonal mayor de la huella (d).

Dureza Knoop = constante x (Fuerza de ensayo/área proyectada de la huella).

$$= 0,102 \times (F/c \cdot d^2) = 1,45 \times (F/d^2) \text{ (MPa)}$$

En las mediciones de dureza Knoop llevadas a cabo en T0, se encontraron diferencias altamente significativas debidas al efecto del tipo de material empleado en la confección de las muestras. De media, las muestras del Grupo 2 obtuvieron un valor de 19,58 (MPa), las del Grupo 3 de 16,32 (MPa) y las del Grupo 1 de 13,14 (MPa).

En T180 de nuevo se encontraron diferencias altamente significativas debidas al tipo de material. Aunque todas las diferencias continuaron siendo significativas, el margen entre las medias de los grupos 2 y 3 se vio reducido. De media, 19,92 (MPa) en el Grupo 2; 18,02 (MPa) en el Grupo 3 y 15,07 (MPa) en el Grupo 1.

En cambio, en el estudio llevado a cabo por Goiato et al. (2014)⁽⁴⁹⁾ sobre resinas acrílicas utilizadas en prótesis, observaron que la dureza Knoop de las resinas disminuyó después del termociclado.

En T0, al añadir como segundo factor de posible efecto el grosor de las pastillas, se observó que la media fue más alta cuando la pastilla era de 1,5 mm, independientemente del tipo de material. En el Grupo 3 es donde la diferencia entre

grosos fue más acusada (14,81 (MPa) de media en las pastillas de 2 mm de grosor; 17,83 (MPa) de media en las de 1,5 mm de grosor). Como señalaban Roberts et al. (2009)⁽¹⁴⁵⁾ en su estudio, la dureza tiende a disminuir a medida que aumenta el grosor del material.

En T180, siguió habiendo diferencias entre los tres materiales pero no se hallaron diferencias entre grosos. Las diferencias que había en T0 en el Grupo 3, entre los grosos 1,5 mm y 2 mm desaparecieron, se igualaron. En todos los grupos se produjo un leve aumento, no significativo, después del termociclado, excepto en el grosor 1,5 mm del Grupo 3.

Según la perspectiva multivariante, es decir, la observación de la interacción del tiempo con el tipo de material, para estudiar si los tres materiales evolucionaron igual, se observó que los cambios en el tiempo fueron similares en los tres grupos de materiales. Aumentó en todos ellos, independientemente del grosor. El factor que más peso tuvo fue el tipo de material, seguido del tiempo. El grosor no tuvo ninguna significación.

La interacción del tiempo con el grosor sí presentó significación. El incremento de los valores de HK fue mucho mayor en las pastillas de 2 mm de grosor del material del Grupo 3, mientras que en las pastillas de 1,5 mm de grosor tanto en dicho Grupo 3 como en el Grupo 2 no hubo variación apreciable. En el Grupo 1, los especímenes de ambos grosos se incrementaron de forma similar.

En el estudio de Roberts et al. (2009)⁽¹⁴⁵⁾ sobre resinas reforzadas con ionómero de vidrio, se registró que los materiales estudiados presentaron una disminución de los valores de KHN durante los primeros seis meses de estudio y un posterior incremento del valor durante los seis meses posteriores (hasta el año). En este caso, los materiales no fueron sometidos a ningún proceso de envejecimiento artificial acelerado sino que permanecieron en incubadora, bajo unas condiciones de humedad cercanas al 100 %.

Catelan et al. (2010)⁽¹⁴⁴⁾ utilizaron dos medios diferentes de envejecimiento artificial: luz UV durante 252 h y sumergir las muestras en bebidas con un pH ácido. Evaluaron la

microdureza Knoop (KHN) mediante un penetrador que aplicaba durante 15 s una carga de 50 g, perpendicular a la superficie de la muestra. Estos autores obtuvieron como resultado que el envejecimiento provocó una disminución del valor de la microdureza Knoop (KHN) en todos los materiales evaluados.

Tuncer et al. (2013),⁽¹²⁷⁾ por el contrario, sí sometieron sus muestras de resinas compuestas a un proceso de termociclado con agua destilada (5 °C- 55 °C; 30 s; 10.000 ciclos). Estudiaron el valor de la dureza Vickers (VHN) de sus muestras antes y después del termociclado y observaron que después del termociclado que ellos llevaron a cabo, se produjo una disminución de la microdureza de alguno de los materiales estudiados. Una disminución de esa microdureza pudo deberse a una absorción acuosa, ya que según refieren los propios autores, el agua actúa debilitando la estructura del polímero y provocando la hidrólisis de los componentes.^(127, 145)

Según Hahnel et al. (2010)⁽¹⁴⁷⁾ y Tuncer et al. (2013),⁽¹²⁷⁾ el tipo de resina, la preparación de las muestras y, sobre todo, la duración del procedimiento de termociclado llevado a cabo tienen una influencia significativamente mayor sobre la dureza del material que el medio donde se lleve a cabo el envejecimiento.

Uno de los estudios destacados en el ámbito de la resistencia a la abrasión y en el estudio de las propiedades mecánicas de los materiales para prótesis provisionales fue el realizado por Stawarczyk y cols. (2011),⁽¹⁸⁰⁾ donde compararon resinas CAD/CAM, resinas para prótesis provisional directa y resinas para cáscara de huevo PMMA. Las resinas polimerizadas manualmente tendieron a alcanzar unos resultados peores que las polimerizadas industrialmente. Sorprendentemente, Unifast III (resina para prótesis provisional mediante técnica directa) alcanzó aquí una resistencia a la abrasión mayor que la de la resina PMMA, polimerizada industrialmente.^(12, 180)

Estudio de la resistencia a la flexión

Los factores que más influyen en las propiedades mecánicas de un material son su contenido en relleno, el tamaño de las partículas, su distribución y las interacciones entre el relleno y la matriz, siendo el contenido en volumen del relleno la propiedad

que más se correlaciona con la resistencia del material, con su módulo de elasticidad, así como con su resistencia a la fractura. La resistencia a la flexión de los materiales tiene una correlación directamente proporcional con su módulo de elasticidad o módulo de Young (E), expresado en MPa.⁽¹⁵⁹⁾ Entre los parámetros referidos a las propiedades del material, se pide una alta resistencia a la flexión y un alto módulo de elasticidad.⁽⁵⁾

Se han descrito muchos métodos estáticos y dinámicos para determinar las propiedades mecánicas de los materiales resinosos. En este proyecto, el ensayo de flexión se llevó a cabo siguiendo las directrices de la norma UNE-EN ISO 178: 2010.⁽¹⁷³⁾ Según dicha norma, empleada para la determinación de las propiedades de flexión de materiales plásticos rígidos y semi-rígidos, deben ensayarse al menos cinco probetas, pero el número de probetas puede ser mayor si se requiere mayor precisión en el valor medio.

En este trabajo se estudiaron 15 probetas de 1,5 mm de grosor y 15 probetas de 2 mm de grosor, de cada uno de los tres materiales estudiados. Se utilizó la máquina de ensayos Zwick/Roell. Cada probeta fue colocada sobre el soporte y se estableció la velocidad de ensayo en 1 mm/min,⁽¹⁴⁷⁾ por ser ésta la velocidad de ensayo utilizada para probetas con espesores comprendidos entre 1 mm y 3,5 mm, según la norma internacional antes nombrada.⁽¹⁷³⁾

Cada espécimen de sección rectangular, que descansaba sobre dos soportes, se flexionó por un elemento de carga que actuó sobre el punto medio de la probeta. Ésta se flexionó a una velocidad constante, hasta que se rompió o hasta que alcanzó un grado de deformación cercano al 5 %.^(15, 173)

Gonçalves (2009)⁽¹⁵⁾ y Hahnel et al. (2010),⁽¹⁴⁷⁾ en sus estudios llevados a cabo para evaluar las propiedades mecánicas de resinas acrílicas empleadas en la confección de restauraciones provisionales y de modernos composites dentales, respectivamente, emplearon una máquina de ensayos. Para la obtención de los resultados sobre la **resistencia a la flexión** utilizaron el **test de flexión en tres puntos**:

$$\sigma_{fM} = 3 \cdot F \cdot d / 2 \cdot w \cdot h^2 \text{ (MPa)}$$

La fórmula quedó detallada en el apartado de Material y Método de la presente Tesis Doctoral.

Pocos son los estudios que han dado importancia a la evaluación de las resinas acrílicas y bis-acrílicas de uso odontológico. Los composites dentales, como materiales de restauración, han sido más comúnmente estudiados en los últimos años. Todos ellos emplean, por unanimidad, el ensayo de flexión en tres puntos.

Para las resinas compuestas (ISO 4049) se pide una resistencia a la flexión ≥ 80 MPa, para poder resistir las fuerzas de la masticación. Entre 90-100 MPa para reconstrucciones en sectores posteriores.^(57, 147, 169) Las fuerzas masticatorias registradas a nivel de los primeros y segundos molares varía entre 441 y 981 N; a nivel de los premolares entre 245 y 491 N; en los caninos entre 147 y 368 N; y en los incisivos entre 98 y 270 N. Así, hipotéticamente, una restauración debería ser capaz de resistir tensiones de aproximadamente 500 N en la región de los premolares y de entre 500 y 900 N en la región de molares.⁽¹⁵⁾

Es sabido que una resistencia a la flexión elevada disminuye el riesgo de fractura del material.⁽⁵⁷⁾ Una reducción en la resistencia a la flexión puede ocasionar debilidad, abrasión y formación de placa, así como grandes probabilidades de fractura de la restauración cuando se utilice *in vivo*.^(15, 147)

Las mediciones llevadas a cabo en nuestro estudio, en origen (T0) mostraron valores de σ_{fM} de 74,31 (MPa) de media. En T0 se apreciaron diferencias altamente significativas entre los tres tipos de materiales empleados. La media de los valores del Grupo 2 fue la más alta (95,20 MPa), seguida de la del Grupo 1 (70,30 MPa) y encontrándose finalmente la del Grupo 3 (56,89 MPa).

Gonçalves (2009)⁽¹⁵⁾ en su Tesis Doctoral sobre resinas acrílicas registró valores de resistencia a la flexión de 88, 805 N/mm² de media para las muestras estudiadas sin refuerzo de fibra de vidrio y valores de 91, 201 N/mm² de media para las muestras con refuerzo de fibra de vidrio. Los resultados obtenidos, de media, para las muestras del Grupo 2 de nuestro proyecto de investigación reflejan datos superiores a los hallados

para otras resinas acrílicas utilizadas en prostodoncia para restauraciones provisionales.

Al estudiar la diferencia entre materiales y grosores en ese origen (T0), se halló que la media de σ_{fM} (MPa) fue más elevada, en rasgos generales, cuando la pastilla fue de 1,5 mm de grosor, pero no en todos los tipos de materiales. En el Grupo 2 la media de las pastillas de 1,5 mm de grosor fue claramente más elevada (105,09 MPa) que la media de las pastillas de 2 mm (85,30 MPa). En los otros dos materiales, las diferencias halladas fueron mínimas: 59,64 MPa para las pastillas de 1,5 mm de grosor del Grupo 3 y 54,14 MPa para las pastillas de 2 mm de grosor del mismo grupo. En el Grupo 1 incluso fueron al contrario: 68,89 MPa para las pastillas de 1,5 mm del Grupo 1 y 71,51 MPa para las pastillas de 2 mm del Grupo 1. Estos cuatro últimos valores claramente por debajo de 80 MPa.

Durante el ensayo de flexión, las muestras fabricadas al inicio del proyecto sufrieron una evidente destrucción. Para poder estudiar el comportamiento del material después del termociclado, se fabricaron nuevas muestras (N= 90; 30 de cada material; 15 de cada tipo de grosor) que inmediatamente fueron sometidas a un proceso de envejecimiento artificial.

Se realizó el ensayo de flexión en T180 y de nuevo se encontraron diferencias altamente significativas entre los tres materiales estudiados. De media:

$$\underline{\text{Grupo 2 (91,47 MPa) > Grupo 1 (67,24 MPa) > Grupo 3 (52,65 MPa)}}$$

De nuevo, no se determinó la existencia de un efecto significativo en función del grosor, aunque se mantuvo que en el global, la media de las probetas de 1,5 mm fue mayor que la de 2 mm de grosor. En T180, el Grupo 2 continuó siendo el que mantuvo valores cercanos a los 90 MPa, mientras que los otros dos grupos presentaron valores de σ_{fM} muy por debajo de 80 MPa.

Hahnel et al. (2010)⁽¹⁴⁷⁾ detallaron en su estudio que la duración del envejecimiento pudo tener una influencia significativa sobre la resistencia a la flexión. Observaron una disminución significativa del valor de resistencia a la flexión en las muestras

termocicladas, o en aquellas que habían sido envejecidas artificialmente durante 90 y 365 días, respecto al valor de las muestras medidas al inicio de su proyecto o respecto a aquellas muestras que solo habían sido envejecidas durante siete días. Los autores llevaron a cabo 1.200 ciclos de termociclado con agua destilada. Alternaron baños de 5 °C-55 °C y los materiales estuvieron sumergidos 5 min en cada cuba.

Ruttermann et al. (2010)⁽¹⁴⁷⁾ estudiaron las propiedades físicas de materiales de restauración a base de resinas, polimerizadas con luz halógena o LED y obtuvieron como resultado que la resistencia a la flexión de las muestras polimerizadas mediante LED disminuyó considerablemente después del proceso de termociclado (5.000 ciclos en agua; con intervalos de temperatura entre los 5 °C-55 °C; 30 s de tiempo de permanencia en cada baño, con un periodo de tránsito entre uno y otro de 15 s).

Heintze y Zimmerli (2011)⁽⁵⁷⁾ también obtuvieron las mismas conclusiones en su estudio sobre la relevancia de los test *in vitro* en el estudio de las resinas dentales: el termociclado tiene un impacto en las propiedades de flexión de los materiales.

En los tres materiales estudiados (Grupo 1, Grupo 2 y Grupo 3) se produjo una disminución del valor de resistencia a la flexión al comparar el momento T0 con T180.

Pero, no hubo cambios que pudieran ser únicamente atribuibles al paso del tiempo. No obstante, cabe destacar lo que se enunció anteriormente: el Grupo 2 presentó el mayor valor de σ_{fM} (95,20 MPa en T0 y 91,47 MPa en T180), seguido del Grupo 1 (70,30 MPa en T0 y 67,24 MPa en T180) y posteriormente del Grupo 3 (56,89 MPa en T0 y 52,65 MPa en T180).

Otra variable a destacar en el estudio de las propiedades de flexión de un material es el módulo de flexión. Idealmente, el **módulo de elasticidad** de los materiales debería ser semejante al del tejido dentario. Conociendo que el módulo de elasticidad de la dentina es de 18 GPa, sabemos que ninguno de los materiales evaluados en los diferentes estudios, ni siquiera resinas compuestas utilizadas como restauraciones definitivas, presentaron un módulo de elasticidad tan elevado como el determinado para la dentina.

Cuanto menor sea la deformación para una determinada tensión, mayor será el valor del módulo de elasticidad. Un módulo de elasticidad elevado aumenta la rigidez y minimiza la flexión de la prótesis.⁽¹⁵⁾

Según Ruttermann et al. (2010),⁽¹⁶⁹⁾ la literatura recomienda un módulo de flexión ≥ 10.000 MPa para materiales de restauración a base de resinas, que vayan a ser utilizados en caras oclusales. Los resultados del presente proyecto distan mucho de los planteados en ese estudio. La media de E {l_o Mod} (MPa) para los materiales estudiados fue de 2.125,96 (MPa) en T0 y 2.293,25 (MPa) en T180. El Grupo 2 continuó siendo el que obtuvo mejores resultados en comparación con los Grupos 1 y 3: Grupo 2 (2.627,34 MPa en T0 y 3.115,77 MPa en T180), Grupo 3 (1.929,05 MPa en T0 y 2.274,23 MPa en T180), Grupo 1 (1.725,77 MPa en T0 y 1.570,24 MPa en T180).

Gonçalves (2009)⁽¹⁵⁾ obtuvo valores de módulo de elasticidad de 2.572,138 ($\pm 290,92$) (MPa) de media para sus muestras de resina acrílica no reforzadas con fibra de vidrio y de 3.446,691 ($\pm 411,13$) (MPa) de media para las muestras que sí tenían refuerzo de fibra de vidrio. Valores similares a los obtenidos en nuestro estudio para las muestras del Grupo 2. Las muestras de los grupos 1 y 3, en cambio, no llegaron a alcanzar los 2.300 MPa ni antes ni después del proceso de termociclado.

En T0 las pastillas de 1,5 mm de grosor obtuvieron valores más altos que las de 2 mm de grosor, en todos los tipos de materiales. Las diferencias entre grosores fueron mucho más acusadas en el Grupo 2 que en los otros dos grupos (3.119,20 MPa para las muestras de 1,5 mm del Grupo 2 y 2.100,36 MPa para las de 2 mm del Grupo 2).

En T180, la media del módulo de elasticidad continuó siendo más alta cuando la pastilla era de 1,5 mm de grosor, independientemente del material. Pero, en T180 se acortó la diferencia que había en T0 en el Grupo 2.

En el Grupo 2, los datos indican que el valor de la variable aumentó con el tiempo. La diferencia fue de más de 640 MPa. En el Grupo 3 también se encontraron diferencias altamente significativas; en este caso, la diferencia fue de unos 400 MPa, menor diferencia de la observada en el Grupo 2.

Estudio de la resistencia a la compresión

Para el estudio de la resistencia a la compresión de los materiales evaluados se empleó la máquina de ensayos modelo PM 2/50, con capacidad de carga de hasta 50 kN; nº de serie R5017. Y, se siguieron las directrices de la normativa UNE-EN ISO 9917-1:2007.⁽¹⁷⁷⁾ Como indica esta norma internacional, se fabricaron cinco cilindros de 6 mm de altura y 4 mm de \varnothing por cada tipo de material.

24 h después de finalizar la operación de mezclado de los materiales, se colocó cada probeta cilíndrica con los extremos planos entre las placas del medidor mecánico, y se aplicó una carga de compresión a lo largo del eje longitudinal del espécimen. Se registró la fuerza máxima aplicada (en Newtons) en el momento en el que se rompió la probeta, y después se calculó la resistencia a la compresión, **C**, en MPa, aplicando la fórmula:

$$C = 4 \cdot p / \pi \cdot d^2 \text{ (MPa)}$$

Según lo establecido por Ferrario et al. (2004)⁽¹⁷⁶⁾ en su estudio, la carga oclusal que un diente unitario debe resistir en la región anterior debe ser de al menos 150 N. A priori, dato muy inferior a los datos obtenidos en este ensayo de compresión, aunque se desconoce el tamaño de los especímenes estudiados por los autores; impedimento para comparar resultados.

En T0, en el Grupo 3 se observaron valores menores que en los otros dos materiales, en especial con respecto a los valores del Grupo 2. Los valores de los grupos 1 y 2 entre sí estuvieron más cercanos, es decir, entre los grupos 1 y 2 no se encontraron diferencias significativas (con $p > 0,05$).

Al tratarse de una muestra muy reducida de probetas, se emplearon test no-paramétricos y se compararon las medianas en lugar de las habituales medias aritméticas.

Las medianas respectivas fueron:

$$\underline{\text{Grupo 2 (288,09 MPa) > Grupo 1 (272,00 MPa) > Grupo 3 (239,43 MPa)}}$$

Al igual que sucedió en el ensayo de flexión, para la segunda parte del ensayo de compresión (T180), fue necesario fabricar nuevas probetas pues uno de los desencadenantes de ambos ensayos fue la total destrucción de cada una de las muestras. Este segundo grupo de muestras cilíndricas fue sometido al proceso de termociclado. Una vez finalizado dicho proceso, se limpiaron las muestras con agua destilada, se secaron con gasas estériles y se sometieron al mismo ensayo de compresión desarrollado en T0.

En T180, los valores de **C** (MPa) de los tres tipos de materiales estuvieron más cerca entre sí unos de otros. No se encontraron diferencias significativas (con $p > 0,05$) entre los tres tipos de materiales, aunque es cierto que en el par Grupo 1-Grupo 2 estuvieron cerca de aparecer.

Las medianas respectivas fueron:

Grupo 2 (233,39 MPa) > Grupo 3 (228,97 MPa) > Grupo 1 (224,55 MPa)

Todos los valores medidos en T180 fueron menores que los valores obtenidos en T0. Las medianas fueron siempre menores y las diferencias fueron todas estadísticamente significativas (con $p < 0,05$) aunque es obvio que el descenso fue mucho menor en el Grupo 3, comparado con los descensos de los otros dos grupos.

Los resultados obtenidos en el presente proyecto de investigación difieren mucho de los datos facilitados por la casa comercial acerca de la resistencia a la compresión de Structur® 3. Según el fabricante, presenta una resistencia a la compresión de unos 500 MPa.⁽³⁵⁾ Ninguno de los especímenes estudiados del Grupo 1 alcanzó valores superiores a 276 MPa.

Actualmente todavía hay pocos estudios en la literatura sobre la tasa de supervivencia de restauraciones provisionales implanto-soportadas.⁽¹⁸⁾ No obstante, Agustín-Panadero et al. (2014)⁽¹⁸⁾ estudiaron en su trabajo la resistencia a la compresión de pilares provisionales PEEK (poliéter éter cetona) utilizados en prótesis sobre implantes y obtuvieron valores de resistencia a la fractura de $329,4 \pm 103,6$ N.

De todos los estudios consultados, ninguno cumplía todas y cada una de las características detalladas en este proyecto como para que los resultados de todos ellos pudieran ser ampliamente comparados.

No obstante, mayores tiempos de estudio, mayor número de muestras y características de almacenamiento y termociclado que difieran de las utilizadas en el presente trabajo deberían ser realizadas en futuras investigaciones.

VI. CONCLUSIONES

Según los objetivos planteados, con la muestra seleccionada, el método aplicado y las limitaciones del estudio, podemos concluir:

VI.1.- El valor de la diferencia de color (ΔE^*) para la **estabilidad cromática** en las muestras de 2 mm de grosor del Grupo 1 (3,95 unidades) fue ligeramente superior al valor clínicamente aceptado en Odontología, presentando por su parte las muestras de 1,5 mm de grosor del Grupo 1 y los grupos 2 y 3 en ambos grosores, valores de ΔE^* por debajo de las 3,3 unidades.

VI.2.- El valor del ΔE^* para la **fluorescencia** fue significativamente mayor en las muestras de 1,5 mm de grosor del Grupo 3 (7,16 unidades). El único conjunto cuyo resultado permaneció en su totalidad inferior a las 3,3 unidades clínicamente aceptadas fue el Grupo 1 (1,45-1,76 unidades).

VI.3.- El valor de la **microdureza** medida mediante el sistema de **Knoop**, presentó diferencias altamente significativas entre los tres materiales estudiados. En todos ellos, la media de los datos registrados después de someter las muestras a un proceso de termociclado (T180) fue mayor que la media de las mediciones registradas en origen (T0). Siendo el material del Grupo 2 el que obtuvo los mejores resultados en ambos tiempos de medida.

VI.4.- La **resistencia a la flexión** de los tres materiales estudiados disminuyó después del termociclado, pero no de una forma estadísticamente significativa ($p > 0,05$). Aunque en el global, la media de las probetas de 1,5 mm fue mayor que la de 2 mm, tampoco se determinó la existencia de un efecto estadísticamente significativo ($p > 0,05$) relacionado con el grosor de las muestras.

El Grupo 2 presentó el mayor valor de resistencia a la flexión (95,20 MPa en T0).

El **módulo de elasticidad** fue mayor en el Grupo 2 en ambos tiempos de medida. La diferencia fue de más de 640 MPa (2.545 MPa en T0. 3.186,15 MPa en T180).

En los tres materiales estudiados, los ejemplares de 1,5 mm de grosor obtuvieron valores de módulo de elasticidad más altos que los especímenes de 2 mm.

VI.5.- La resistencia a la **compresión** de los tres materiales estudiados disminuyó después del termociclado, de una forma estadísticamente significativa ($p < 0,05$). De nuevo, las muestras del Grupo 2 presentaron valores mayores que sus homólogos (288,09 MPa en T0 y 233,39 MPa en T180).

Por consiguiente, queda rechazada la hipótesis nula (H_0) planteada al inicio del proyecto.

VII. BIBLIOGRAFÍA

1. The glossary of prosthodontic terms. 8th edition. J Prosthet Dent 2005;94(1):10-83.
2. Santosa RE. Provisional restoration options in implant dentistry. Aust Dent J 2007;52(3):234-42.
3. Wassell RW, George GS, Ingledew RP, Steele JG. Crowns and other extra-coronal restorations: Provisional restorations. Br Dent J 2002;192(11):619-30.
4. Moscovitch MS, Saba S. The Use of a Provisional Restoration in Implant Dentistry: A Clinical Report. Int J Oral Maxillofac Implants 1996;11(3):395-9.
5. Meyer A, Müller P. Prótesis provisional directa. Quintessence (ed. esp.) 2007;20(9):559-67.
6. Beuer F, Schweiger J, Edelhoff D, Sorensen JA. Reconstruction of esthetics with a digital approach. Int J Periodontics Restorative Dent 2011;31(2):185-93.
7. Shor A, Schuller R, Goto Y. Indirect implant-supported fixed provisional restoration in the esthetic zone: Fabrication technique and treatment workflow. J Esthet Restor Dent 2008;20(2):82-95.
8. Hammond BD, Cooper JR, Lazarchik DA. Predictable repair of provisional restorations. J Esthet Restor Dent 2009;21(1):19-24.
9. Reshad M, Cascione D, Kim T. Anterior provisional restorations used to determine form, function and esthetics for complex restorative situations, using all-ceramic restorative systems. J Esthet Restor Dent 2010;22(1):7-16.
10. Hamouda IM. Effects of various beverages on hardness, roughness and solubility of esthetic restorative materials. J Esthet Restor Dent 2011;23(5):315-22.
11. Schoenbaum TR, Chang YY, Klokkevold PR, Snowden JS. Abutment emergence modification for immediate implant provisional restorations. J Esthet Restor Dent 2013;25(2):103-7.
12. Gómez Clemente V, Martínez Vázquez de Parga JA, Celemín Viñuela A. Provisionales mediante tecnología CAD/CAM. Estado actual y revisión bibliográfica. Rev Int Prot Estomatol 2013;15(4):259-66.
13. Blasi A, Barrero CH. Estudio in vitro para comprobar la estabilidad del color de materiales provisionales usados en prostodoncia. Univ Odontol 2011;30(65):17-23.

14. Guler AU, Yilmaz F, Kulunk T, Guler E, Kurt S. Effects of different drinks on stainability of resin composite provisional restorative materials. *J Prosthet Dent* 2005;94(2):118-24.
15. Gonçalves R. Avaliação da resistência flexural, módulo de elasticidade, carga de ruptura e parâmetros de cor de resinas acrílicas utilizadas para restaurações provisórias com fibra de vidro. Tesis Doctoral. Universidade de São Paulo. Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto. São Paulo, 2009.
16. Saishiro OH, Guerrero J, Navarro E. Comparación de la resistencia a la flexión de dos marcas de resinas acrílicas para prótesis provisionales con refuerzo de fibra, procesadas a diferentes temperaturas. *Revista Odontológica Mexicana* 2004;8(3):70-4.
17. Balshi TJ, Wolfinger GJ, Wulc D, Balshi SF. A prospective analysis of immediate provisionalization of single implants. *J Prosthodont* 2011;20(1):10-5.
18. Agustín-Panadero R, Serra-Pastor B, Roig-Venaclocha A, Román-Rodríguez JL, Fons-Font A. Mechanical behavior of provisional implant prosthetic abutments. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal* 2015;20(1):94-102.
19. Tortamano P, Camargo LO, Bello-Silva MS, Kanashiro LH. Immediate implant placement and restoration in the esthetic zone: a prospective study with 18 months of follow-up. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2010;25(2):345-50.
20. El-Chaar ES. Immediate placement and provisionalization of implant-supported, single-tooth restorations: a retrospective study. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2011;31(4):409-19.
21. Chu SJ, Hochman MN, Tan-Chu JH, Mielezsko AJ, Tarnow DP. A novel prosthetic device and method for guided tissue preservation of immediate postextraction socket implants. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2014;34(suppl 3):9-17.
22. Al Tawal EQH, Chadwick RG. Fibre reinforcement of two temporary composite bridge materials-Effect upon flexural properties. *J Dent* 2012;40(12):1044-51.
23. Bilhan H, Geckili O, Mumcu E. The use of definitive implant abutments for the fabrication of provisional crowns: a case series. *J Periodontal Implant Sci* 2011;41(5):248-52.

24. Crespi R, Capparè P, Gherlone E, Romanos G. Immediate provisionalization of dental implants placed in fresh extraction sockets using a flapless technique. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2012;32(1):29-37.
25. Santing HJ, Meijer HJ, Raghoobar GM, Özcan M. Fracture strength and failure mode of maxillary implant-supported provisional single crowns: a comparison of composite resin crowns fabricated directly over PEEK abutments and solid titanium abutments. *Clin Implant Dent Relat Res* 2012;14(6):882-9.
26. Tarnow DP, Chu SJ, Salama MA, Stappert CF, Salama H, Garber DA, Sarnachiaro GO, Sarnachiaro E, Gotta SL, Saito H. Flapless postextraction socket implant placement in the esthetic zone: Part 1. The effect of bone grafting and/or provisional restoration on facial-palatal ridge dimensional change- A retrospective cohort study. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2014;34(3):323-31.
27. Güth JF, Zuch T, Zwinge S, Engels J, Stimmelmayer M, Edelhoff D. Optical properties of manually and CAD/CAM-fabricated polymers. *Dent Mater J* 2013;32(6):865-71.
28. Vaidyanathan T, Vaidyanathan J, Manasse M. Analysis of stress relaxation in temporization materials in dentistry. *Dent Mater* 2015;31(3):55-62.
29. Manicone PF, Raffaelli L, Ghassemian M, D'Addona A. Soft and hard tissue management in implant therapy-Part II: Prosthetic concepts. *Int J Biomater* 2012;2012:356817. doi:10.1155/2012/356817. Epub 2012 Jul 3.
30. Fu PS, Wu YM, Wang JC, Huang TK, Chen WC, Huang JW, Hung CC. Optimizing anterior esthetics of a single-tooth implant through socket augmentation and immediate provisionalization: a case report with 7-year follow-up. *Kaohsiung J Med Sci* 2012;28(10):559-63.
31. Chu SJ, Salama MA, Salama H, Garber DA, Saito H, Sarnachiaro GO, Tarnow DP. The dual-zone therapeutic concept of managing immediate implant placement and provisional restoration in anterior extraction sockets. *Compend Contin Educ Dent* 2012;33(7):524-34.
32. Schweiger J, Edelhoff D. Noninvasive provisional restorations using high-density polymers. *QDT* 2013;122-32.

33. Santing HJ, Kleverlaan CJ, Werner A, Feilzer AJ, Raghoobar GM, Meijer HJ. Occlusal wear of provisional implant-supported restorations. *Clin Implant Dent Relat Res* 2015;17(1):179-85.
34. Wittneben JG, Buser D, Belser UC, Brägger U. Peri-implant soft tissue conditioning with provisional restorations in the esthetic zone: the dynamic compression technique. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2013;33(4):447-55.
35. Comisi JC. Provisional materials: advances lead to extensive options for clinicians. *Compendium* 2015;36(1):54-9.
36. Assery MK. Immediate implant in the esthetic zone: an evidence-based clinical guide. *S J Oral Sci* 2014;1(1):14-8.
37. De Rouck T, Collys K, Wyn I, Cosyn J. Instant provisionalization of immediate single-tooth implants is essential to optimize esthetic treatment outcome. *Clin Oral Implants Res* 2009;20(6):566-70.
38. Silame FD, Tonani R, Alandia-Roman CC, Chinelatti M, Panzeri H, Pires-de-Souza FC. Colour stability of temporary restorations with different thicknesses submitted to artificial accelerated aging. *Eur J Prosthodont Restor Dent* 2013;21(4):187-90.
39. Shillingburg HT, Sather DA, Wilson EL, Cain JR, Mitchell DL, Blanco LJ. *Fundamentals of fixed Prosthodontics*, 4th edition. Quintessence Publishing Co, Inc. 2012. Chapter 15: Provisional Restorations 241-68.
40. Degidi M, Daprile G, Nardi D, Piattelli A. Immediate provisionalization of implants placed in fresh extraction sockets using a definitive abutment: the chamber concept. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2013;33(5):559-65.
41. Gamborena I, Blatz MB. Fluorescence- Mimicking nature for ultimate esthetics in implant dentistry. *QDT* 2011;34:7-23.
42. Wilson TG Jr. The positive relationship between excess cement and peri-implant disease: a prospective clinical endoscopic study. *J Periodontol* 2009;80(9):1388-92.
43. Silva Cde S, Machado AL, Chaves Cde A, Pavarina AC, Vergani CE. Effect of thermal cycling on denture base and autopolymerizing reline resins. *J Appl Oral Sci* 2013;21(3):219-24.

44. Harada A, Nakamura K, Kanno T, Inagaki R, Örtengren U, Niwano Y, Sasaki K, Egusa H. Fracture resistance of computer-aided design/computer-aided manufacturing-generated composite resin-based molar crowns. *Eur J Oral Sci* 2015;123(2):122-9.
45. Burns DR, Beck DA, Nelson SK. A review of selected dental literature on contemporary provisional fixed prosthodontic treatment: report of the Committee on Research in Fixed Prosthodontics of the Academy of Fixed Prosthodontics. *J Prosthet Dent* 2003;90(5):474-97.
46. Vojdani M, Bagheri R, Reza Khaledi AA. Effects of aluminum oxide addition on the flexural strength, surface hardness, and roughness of heat-polymerized acrylic resin. *J Dent Sci* 2012;7(3):238-44.
47. Takahashi Y, Hamanaka I, Shimizu H. Flexural properties of denture base resins subjected to long-term water immersion. *Acta Odontol Scand* 2013;71(3-4):716-20.
48. Silva MP, Junio JC, Jorjão AL, Machado AKS, Oliveira LD, Junqueira JC, Jorge AOC. Influence of artificial saliva in biofilm formation of candida albicans *in vitro*. *Braz Oral Res* 2012;26(1):24-8.
49. Goiato MC, Dos Santos DM, Andreotti AM, Nobrega AS, Moreno A, Haddad MF, Pesqueira AA. Effect of beverages and mouthwashes on the hardness of polymers used in intraoral prostheses. *J Prosthodont* 2014;23(7):559-64.
50. Hein S. *Natura magica: the magic of nature*. QDT 2009;32:133-48.
51. Nasim I, Neelakantan P, Sujeer R, Subbarao CV. Color stability of microfilled, microhybrid and nanocomposite resins--an *in vitro* study. *J Dent* 2010;38(2):137-42.
52. Saleh A. *Influencia de la fuente de fotoactivación, y del espesor sobre la variación del color y la translucidez de nuevos composites*. Tesis Doctoral. Universidad de Granada. Facultad de Ciencias. Departamento de Óptica. Noviembre 2006.
53. Baggio Aguiar FH, Rodrigues Lazzari C, Nunes Leite Lima DA, Bovi Ambrosano GM, Lovadino JR. Effect of light curing tip distance and resin shade on microhardness of a hybrid resin composite. *Braz oral res* 2005;19(4):302-6.

54. Morresi AL, D'Amario M, Capogreco M, Gatto R, Marzo G, D'Arcangelo C, Monaco A. Thermal cycling for restorative materials: Does a standardized protocol exist in laboratory testing? A literature review. *J Mech Behav Biomed Mater* 2014;29:295-308.
55. Cavalcanti AN, Mitsui FHO, Ambrosano GMB, Marchi GM. Influence of adhesive systems and flowable composite lining on bond strength of class II restorations submitted to thermal and mechanical stresses. *J Biomed Mater Res, Part B* 2007;80B(1):52-8.
56. Powers JM. In vitro testing of restorative materials. What's the value? *J Esthet Restor Dent* 2012;24(6):363-4.
57. Heintze SD, Zimmerli B. Relevance of *in vitro* tests of adhesive and composite dental materials. Part 1: Approval requirements and standardized testing of composite materials according to ISO specifications. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 2011;121(9):804-16.
58. Briso AL, Fedel TM, Pereira S, Mauro SJ, Sundfeld RH, Sundfeld ML. Influence of light curing source on microhardness of composite resins of different shades. *J Appl Oral Sci* 2006;14(1):10-5.
59. Heintze SD. Clinical relevance of tests on bond strength, microleakage and marginal adaptation. *Dent Mater* 2013;29(1):59-84.
60. Huysmans MC, Van der Varst PG, Lautenschlager EP, Monaghan P. The influence of simulated clinical handling on the flexural and compressive strength of posterior composite restorative materials. *Dent Mater* 1996;12(2):116-20.
61. Khoroushi M, Mansoori M. Marginal sealing durability of two contemporary self-etch adhesives. *ISRN Dent* 2012;2012:204813. doi: 10.5402/2012/204813:29:1-8.
62. Gómez-Polo C, Gómez-Polo M, Celemín Viñuela A, Martínez Vázquez de Parga JA. Differences between the human eye and the spectrophotometer in the shade matching of tooth colour. *J Dent* 2014;42(6):742-5.
63. Gómez-Polo C, Gómez-Polo M, Celemín Viñuela A, Martínez Vázquez de Parga JA. A clinical study relating CIELCH coordinates to the color dimensions of the 3D-Master System in a Spanish population. *J Prosthet Dent* 2015;113(3):185-90.

64. Santos PH, Souza FI, Guedes AP, Pavan S. Effect of postpolymerization method on the color stability of composite resins submitted to ultraviolet aging. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2012;32(3):95-100.
65. Aguilar FG, Roberti Garcia Lda F, Cruvinel DR, Sousa AB, de Carvalho Panzeri Pires-de-Souza F. Color and opacity of composites protected with surfaces sealants and submitted to artificial accelerated aging. *Eur J Dent* 2012;6(1):24-33.
66. Yew HZ, Berekally TL, Richards LC. A laboratory investigation of color changes in two contemporary resin composites on exposure to spices. *Aust Dent J* 2013;58(4):468-77.
67. Sarafianou A, Kamposiora P, Papavasiliou G, Goula H. Matching repeatability and interdevice agreement of 2 intraoral spectrophotometers. *J Prosthet Dent* 2012;107(3):178-85.
68. Beltrami R, Colombo M, Chiesa M, Bianchi S, Poggio C. Scattering properties of a composite resin: influence on color perception. *Contemp Clin Dent* 2014;5(4):501-6.
69. Goiato MC, Nóbrega AS, dos Santos DM, Andreotti AM, Moreno A. Effect of different solutions on color stability of acrylic resin-based dentures. *Braz Oral Res* 2014;28(1):1-7.
70. Arana-Correa BE, Sepúlveda-Navarro WF, Florez FL, Urban VM, Jorge JH, Campanha NH. Colour stability of acrylic resin denture teeth after immersion in different beverages. *Eur J Prosthodont Restor Dent* 2014;22(2):56-61.
71. Celik G, Uludag B, Usumez A, Sahin V, Ozturk O, Goktug G. The effect of repeated firings on the color of an all-ceramic system with two different veneering porcelain shades. *J Prosthet Dent* 2008;99(3):203-208.
72. Liu M, Chen L, Liu X, Yang Y, Zheng M, Tan J. Online colour training system for dental students: a comprehensive assessment of different training protocols. *J Oral Rehabil* 2015;42(4):282-90.
73. Chu SJ. Precision shade technology: Contemporary strategies in shade selection. *Pract Proced Aesthet Dent* 2002;14(1):79-83.

74. Núñez Díaz P, del Río Highsmith J. Estudio comparativo entre sistemas de medición del color en Odontología. *Gaceta Dental: Industria y Profesiones* 2007;179:164-75.
75. Schmeling M, Sartori N, Monteiro, Jr. S, Baratieri L. Color stability of shade guides after autoclave sterilization. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2014;34(5):689-93.
76. Gómez Polo C. Estudio clínico sobre el color dental en la población de Castilla y León. Tesis Doctoral. Universidad de Salamanca. Facultad de Medicina. Salamanca, 2012.
77. Mikhail SS, Schricker SR, Shereen SA, Bratley WA, Johnston WM. Optical characteristics of contemporary dental composite resin materials. *J Dent* 2013;41(9):771-8.
78. Sikri VK. Color: Implications in dentistry. *J Conserv Dent* 2010;13(4):249-55.
79. Corcodel N, Helling S, Rammelsberg P, Hassel AJ. Metameric effect between natural teeth and the shade tabs of a shade guide. *Eur J Oral Sci* 2010;118(3):311-6.
80. García Gargallo M, Martínez Vázquez de Parga JA, Celemín Viñuela A. Propiedades estéticas de las resinas compuestas. *Rev Int Prot Estomatol* 2011;13(1):11-22.
81. Lafuente D. Física del color y su utilidad en odontología. *Rev Cient Odontol* 2008;4(1):10-5.
82. Lu H, Lee YK, Villalta P, Powers JM, García-Godoy F. Influence of the amount of UV component in daylight simulator on the color of dental composite resins. *J Prosthet Dent* 2006;96(5):322-7.
83. Hu X, Johnston WM, Seghi RR. Measuring the color of maxillofacial prosthetic material. *J Dent Res* 2010;89(12):1522-7.
84. Takatsui F, Adrade MF, Neisser MP, Barroso LA, Loffredo Lde C. CIE L*a*b*: comparison of digital images obtained photographically by manual and automatic modes. *Braz Oral Res* 2012;26(6):578-83.
85. Yuan JC, Brewer JD, Monaco EA, Davis EL. Defining a natural tooth color space based on a 3-dimensional shade system. *J Prosthet Dent* 2007;98(2):110-9.

86. Khashayar G, Dozic A, Kleverlaan CJ, Feilzer AJ. Data comparison between two dental spectrophotometers. *Oper Dent* 2012;37(1):12-20.
87. Kim-Pusateri S, Brewer JD, Davis EL, Wee AG. Reliability and accuracy of four dental shade-matching devices. *J Prosthet Dent* 2009;101(3):193-9.
88. http://www.gusgsm.com/espacio_color_cie_lab. Acceso 18-09-2014.
89. Paravina RD, Ontiveros JC, Powers JM. Accelerated aging effects on color and translucency of bleaching-shade composites. *J Esthet Restor Dent* 2004;16(2):117-27.
90. Shin DH, Ralph Rawlsb H. Degree of conversion and color stability of the light curing resin with new photoinitiator systems. *Dent Mater* 2009;25(8):1030-8.
91. Brackett MG, Brackett WW, Browning WD, Rueggeberg FA. The effect of light curing source on the residual yellowing of resin composites. *Oper Dent* 2007;32(5):443-50.
92. Yazici AR, Celik C, Dayangaç B, Ozgünaltay G. The effect of curing units and staining solutions on the color stability of resin composites. *Oper Dent* 2007;32(6):616-22.
93. Hassel AJ, Grossmann AC, Schmitter M, Balke Z, Buzello AM. Fiabilidad entre examinadores para la medición clínica de los valores de $L^*C^*h^*$ de los dientes anteriores usando un espectrofotómetro. *Rev Int Prot Estomatol. Edición Hispanoamericana* 2008;10(2):127-32.
94. Hassel AJ, Cevirgen E, Balke Z, Rammelsberg P. Fiabilidad intraexaminador de la medición de color mediante espectrofotometría. *Quintessence (ed. esp.)* 2010;23(4):133-8.
95. Nakazawa M. Color stability of indirect composite materials polymerized with different polymerization systems. *J Oral Sci* 2009;51(2):267-73.
96. Vichi A, Ferrari M, Davidson CL. Color and opacity variations in three different resin-based composite products after water aging. *Dent Mater* 2004;20(6):530-4.
97. Ishikawa-Nagai S, Yoshida A, Da Silva J, Miller LI. Spectrophotometric analysis of tooth color reproduction on anterior all-ceramic crowns: Part 1: Analysis and interpretation of tooth color. *J Esthet Restor Dent* 2010;22(1):42-52.

98. Yoshida A, Miller L, Da Silva JD, Ishikawa-Nagai S. Spectrophotometric analysis of tooth color reproduction on anterior all-ceramic crowns: Part 2: Color reproduction and its transfer from *in vitro* to *in vivo*. J Esthet Restor Dent 2010;22(1):53-63.
99. Sabatini C, Campillo M, Aref J. Color stability of ten resin-based restorative materials. J Esthet Restor Dent 2012;24(3):185-99.
100. Paravina RD, Swift EJ. Color in dentistry: improving the odds of correct shade selection. J Esthet Restor Dent 2009;21(3):202-8.
101. Li Q, Yu H, Wang YN. In vivo spectroradiometric evaluation of colour matching errors among five shade guides. J Oral Rehabil 2009;36(1):65-70.
102. Paravina RD, Majkic G, Imai FH, Powers JM. Optimization of tooth color and shade guide design. J Prosthodont 2007;16(4):269-76.
103. Lee SH, Lee YK. Effect of thermocycling on optical parameters of resin composites by the brand and shade. Am J Dent 2008;21(6):361-7.
104. Paravina RD, Kimura M, Powers JM. Evaluation of polymerization-dependent changes in color and translucency of resin composites using two formulae. Odontology 2005;93(1):46-51.
105. Topcu FT, Sahinkesen G, Yamanel K, Erdemic U, Oktay EA, Ersahan S. Influence of different drinks on the colour stability of dental resin composites. Eur J Dent 2009;3(1):50-6.
106. Mundim FM, Roberti García Lda F, de Calvalho Panzeri Pires-de-Souza F. Effect of staining solutions and repolishing on color stability of direct composites. J Appl Oral Sci 2010;18(3):249-54.
107. Commission Internationale de L'Éclairage. Colorimetry, Official recommendations of the International Commission on Illumination. Publication CIE Nº 15: 2004. 3rd Edition.
108. Mahdisiar F, Nasoohi N, Safi M, Sahraee Y, Zavareian S. Evaluating the effect of tea solution on color stability of three dental composite (In Vitro). J Res Dent Sci 2014;11(1):14-9.
109. Mikhail SS, Johnston WM. Confirmation of theoretical colour predictions for layering dental composite materials. J Dent 2014;42(4):419-24.

110. Festuccia MS, Garcia Lda F, Cruvinel DR, Pires-De-Souza Fde C. Color stability, Surface roughness and microhardness of composite submitted to mouthrinsing action. *J Appl Oral Sci* 2012;20(2):200-5.
111. Olms C, Setz JM. The repeatability of digital shade measurement-a clinical study. *Clin Oral Invest* 2013;17(4):1161-6.
112. Dietschi D, Abdelaziz M, Krejci I, Di Bella E, Ardu S. A novel evaluation method for optical integration of class IV composite restorations. *Aust Dent J* 2012;57(4):446-52.
113. Goiato MC, Dos Santos DM, Haddad MF, Pesqueira AA. Effect of accelerated aging on the microhardness and color stability of flexible resins for dentures. *Braz Oral Res* 2010;24(1):114-9.
114. Khashayar G, Bain PA, Salari S, Dozic A, Kleverlaan CJ, Feilzer AJ. Perceptibility and acceptability thresholds for colour differences in dentistry. *J Dent* 2014;42(6):637-44.
115. Arocha MA, Basilio J, Llopis J, Di Bella E, Roig M, Ardu S, Mayoral JR. Colour stainability of indirect CAD/CAM processed composites vs. conventionally laboratory processed composites after immersion in staining solutions. *J Dent* 2014;42(7):831-8.
116. Taşkinsel E, Özel E, Öztürk E. Effects of sports beverages and polishing systems on color stability of different resin composites. *J Conserv Dent* 2014;17(4):325-9.
117. Chu SJ, Trushkowsky RD, Paravina RD. Dental color matching instruments and systems. Review of clinical and research aspects. *J Dent* 2010;38(2):2-16.
118. Ozturk O, Uludag B, Usumez A, Sahin V, Celik G. The effect of ceramic thickness and number of firings on the color of two all-ceramic systems. *J Prosthet Dent* 2008;100(2):99-106.
119. Olms C, Arnold CH, Setz JM. Effect of surrounding parameters on the reproducibility of intraoral color measurements. *Dtsch Zahnärztl* 2009;64:616-23.

120. Lefever D, Mayoral JR, Mercade M, Basilio J, Roig M. Optical integration and fluorescence: A comparison among restorative materials with spectrophotometric analysis. *Quintessence Int* 2010;41(10):837-44.
121. Song SH, Yu B, Ahn JS, Lee YK. Opalescence and fluorescence properties of indirect and direct resin materials. *Acta Odontol Scand* 2008;66(4):236-42.
122. Meireles SS, Demarco FF, Santos IS, Dumith SC, Della Bona A. Validation and Reliability of Visual Assessment with a Shade Guide for Tooth-Color Classification. *Operative Dentistry* 2008;33(2):121-6.
123. Ikeda T, Sidhu SK, Omata Y, Fujita M, Sano H. Colour and translucency of opaque-shades and body shades of resin composites. *Eur J Oral Sci* 2005;113(2):170-3.
124. Kim IJ, Lee YK. Changes in color and color parameters of dental resin composites after polymerization. *J Biomed Mater Res, Part B* 2007;80(2):541-6.
125. Regain JC, Johnston WM. Minimum color differences for discriminating mismatch between composite and tooth color. *J Esthet Restor Dent* 2001;13(1):41-8.
126. Dietschi D, Campanile G, Holz J, Meyer JM. Comparison of the color stability of ten new-generation composites: an in vitro study. *Dent Mater* 1994;10(6):353-62.
127. Tuncer S, Demirci M, Tiryaki M, Ünlü N, Uysal Ö. The effect of a modeling resin and thermocycling on the surface hardness, roughness and color of different resin composites. *J Esthet Restor Dent* 2013;25(6):404-19.
128. Bahannan SA. Shade matching quality among dental students using visual and instrumental methods. *J Dent* 2014;42(1):48-52.
129. Schneider LF, Pfeifer CS, Consani S, Prahl SA, Ferracane JL. Influence of photoinitiator type on the rate of polymerization, degree of conversion, hardness and yellowing of dental resin composites. *Dent Mater* 2008;24(9):1169-77.
130. Kielbassa AM, Beheim-Schwarzbach NJ, Neumann K, Nat R, Zantner C. In vitro comparison of visual and computer-aided pre and post-tooth shade determination using various home bleaching procedures. *J Prosthet Dent* 2009;101(2):92-100.

131. Brook AH, Smith RN, Lath DJ. The clinical measurement of tooth color and stain. *Int Dent J* 2007;57(5):324-30.
132. Skoog DA, Holler FJ, Crouch SR. Principles of Instrumental Analysis, 6th edition. 2007. Ed. Belmont, CA, Thomson.
133. www.espectrometria.com/espectrometra_de_fluorescencia. Acceso 21-01-2013.
134. Jiménez P, Mercadé M, Basilio J, Roig M. Estudio comparativo de las propiedades lumínicas de un diente natural restaurado con 5 composites distintos, bajo luz fluorescente y luz natural. *Dentum* 2008;8(4):167-71.
135. Dietschi D. Free-Hand Bonding in the Esthetic Treatment of Anterior Teeth: Creating the Illusion. *J Esthet Restor Dent* 1997;9(4):156-64.
136. Sensi LG, Marson, FC, Roesner TH, Baratieri LN, Monteiro S. Fluorescence of Composite Resins: Clinical Considerations. *QDT* 2006;29:43-53.
137. Rey F, Souza J, Duarte S. Fluorescence: Clinical Evaluation of New Composite Resins. *QDT* 2012;35:145-56.
138. Sant'Anna Aguiar Dos Reis R, Casemiro LA, Carlino GV, Lins EC, Kurachi C, Bagnato VS, Pires-de-Souza Fde C, Panzeri H. Evaluation of fluorescence of dental composites using contrast ratios to adjacent tooth structure: a pilot study. *J Esthet Restor Dent* 2007;19(4):199-206.
139. Schmelting M, Sartori N, Peruchi LD, Baratieri LN. Fluorescence of natural teeth and direct composite resin restorations: seeking blue esthetics. *Am J Esthet Dent* 2013;3(2):100-11.
140. Meller C, Klein C. Fluorescence properties of commercial composite resin restorative materials in dentistry. *Dent Mater J* 2012;31(6):916-23.
141. Jablonski T, Takahashi MK, Brum RT, Rached RN, Souza EM. Comparative study of fluorescence intensity of dental composites and human teeth submitted to artificial aging. *Gen Dent* 2014;62(1):37-41.
142. David Fernández S. Estudio experimental de sistemas poliméricos para recubrimiento de metales en prótesis. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid. Madrid, 2004.

143. David Fernández S, del Río Highsmith J, Celemín Viñuela A. In vivo study of the wear of a reinforced composite used to cover implant-supported frameworks. *Int J Prosthodont* 2009;22(4):358-360.
144. Catelan A, Briso A, Sundfeld R, Dos Santos P. Effect of artificial aging on the roughness and microhardness of sealed composites. *J Esthet Restor Dent* 2010;22(5):324-31.
145. Roberts HW, Berzins DW, Charlton DG. Hardness of three resin-modified glass-ionomer restorative materials as a function of depth and time. *J Esthet Restor Dent* 2009;21(4):262-72.
146. Souza RO, Özcan M, Michida SM, Melo R, Pavanelli CA, Bottino MA, Soares LE, Martin AA. Conversion degree of indirect resin composites and effect of thermocycling on their physical properties. *J Prosthodont* 2010;19(3):218-25.
147. Hahnel S, Henrich A, Bürgers R, Handel G, Rosentritt M. Investigation of mechanical properties of modern dental composites after artificial aging for one year. *Operative Dentistry* 2010;35(4):412-19.
148. Erdemir U, Yildiz E, Eren MM, Ozel S. Surface hardness evaluation of different composite resin materials: influence of sports and energy drinks immersion after a short-term period. *J Appl Oral Sci* 2013;21(2):124-31.
149. Ferracane JL, Berge HX, Condor JR. In vitro aging of dental composites in water- effect of degree of conversion, filler volume, and filler/matrix coupling. *J Biomed Mater Res* 1998;42(3):465-72.
150. Miranda Dde A, Bertoldo CE, Aguiar FH, Lima DA, Lovadino JR. Effects of mouthwashes on Knoop hardness and surface roughness of dental composites after different immersion times. *Braz Oral Res* 2011;25(2):168-73.
151. Albino LG, Rodrigues JA, Kawano Y, Cassoni A. Knoop microhardness and FT-Raman evaluation of composite resins: influence of opacity and photoactivation source. *Braz Oral Res* 2011;25(3):267-73.
152. Mendonça LM, Pegoraro LF, Lanza MD, Pegoraro TA, Carvalho RM. Effects of coronal substrates and water storage on the microhardness of a resin cement used for luting ceramic crowns. *J Appl Oral Sci* 2014;22(4):287-93.

153. Alves PB, Brandt WC, Neves ACC, Cunha LG, Silva-Concilio LR. Mechanical properties of direct and indirect composites after storage for 24 hours and 10 months. *Eur J Dent* 2013;7(1):117-22.
154. Lauvahutanon S, Takahashi H, Shiozawa M, Iwasaki N, Asakawa Y, Oki M, Finger WJ, Arksornnukit M. Mechanical properties of composite resin blocks for CAD/CAM. *Dent Mater J* 2014;33(5):705-10.
155. Chun KJ, Choi HH, Lee JY. Comparison of mechanical property and role between enamel and dentin in the human teeth. *J Dent Biomech* 2014;6(5):1-7.
156. Bertrand MF, Leforestier E, Muller M, Lupi-Péquier L, Bolla M. Effect of surface penetrating sealant on surface texture and microhardness of composite resins. *J Biomed Mater Res* 2000;53(6):658-63.
157. UNE-EN ISO 4545-1: 2005. Ensayo de dureza Knoop. Parte 1: Método de ensayo.
158. Ionta FQ, Mendonça FL, de Oliveira GC, de Alencar CR, Honório HM, Magalhães AC, Rios D. In vitro assessment of artificial saliva formulations on initial enamel erosion remineralization. *J Dent* 2014;42(2):175-9.
159. Ruíz JM, Ceballos L, Fuentes MV, Osorio R, Toledano M, García-Godoy F. Propiedades mecánicas de resinas compuestas modificadas o no con poliácidos. *Av. Odontoestomatol* 2003;19(6):291-97.
160. Lohbauer U, Belli R, Ferracane JL. Factors involved in mechanical fatigue degradation of dental resin composites. *J Dent Res* 2013;92(7):584-91.
161. Kikuti WY, Chaves FO, Di Hipólito V, Rodrigues FP, D'Alpino PH. Fracture resistance of teeth restored with different resin-based restorative systems. *Braz Oral Res* 2012;26(3):275-81.
162. Kumar G, Shivrayan A. Comparative study of mechanical properties of direct core build-up materials. *Contemp Clin Dent* 2015;6(1):16-20.
163. Kawano F, Ohguri T, Ichikawa T, Matsumoto N. Influence of thermal cycles in water on flexural strength of laboratory-processed composite resin. *J Oral Rehabil* 2001;28(8):703-7.
164. Peampring C, Sanohkan S. Effect of thermocycling on flexural strength and Weibull statistics of mechinable glass-ceramic and composite resin. *J Indian Prosthodont Soc* 2014;14(4):376-80.

165. Savabi O, Attar K, Nejatidanesh F, Goroohi H, Badrian H. Effect of different chemical disinfectants on the flexural strength of heat-polymerized acrylic resins. *Eur J Prosthodont Restor Dent* 2013;21(3):105-8.
166. UNE-EN ISO 4049: 2009. "Dentistry- Polymer-based filling, restoration, and luting materials".
167. Zhang Y, Xu J. Effect of immersion in various media on the sorption, solubility, elution of unreacted monomers, and flexural properties of two model dental composite composition. *J Mater Sci Mater Med* 2008;19(6):2477-83.
168. Ruse ND, Sadoun MJ. Resin-composite blocks for dental CAD/CAM applications. *J Dent Res* 2014;93(12):1232-4.
169. Rüttermann S, Tomruk S, Raab W, Janda R. Effect of energy density on the physical properties of resin-based restorative materials when polymerized with quartz-tungsten halogen or LED-light. *Eur J Dent* 2010;4(2):183-91.
170. Park JW, Ferracane JL. Water aging reverses residual stresses in hydrophilic dental composites. *J Dent Res* 2014;93(2):195-200.
171. Gonçalves F, Kawano Y, Braga RR. Contraction stress related to composite inorganic content. *Dent Mater* 2010;26(7):704-9.
172. Janda R, Roulet JF, Latta M, Rüttermann S. The effects of thermocycling on the flexural strength and flexural modulus of modern resin-based filling materials. *Dent Mater* 2006;22(12):1103-8.
173. UNE-EN ISO 178: 2010. Plásticos. Determinación de las propiedades de flexión.
174. Willems G. Estética.- Restauraciones Adhesivas en Dientes Anteriores Fracturados. Capítulo 4: Resinas compuestas 1992:84-5.
175. Chun KJ, Lee JY. Comparative study of mechanical properties of dental restorative materials and dental hard tissues in compressive loads. *J Dent Biomech* 2014;11(5):1-6.
176. Ferrario VF, Sforza C, Serrao G, Dellavia C, Tartaglia GM. Single tooth bite forces in healthy young adults. *J Oral Rehabil* 2004;31(1):18-22.
177. UNE-EN ISO 9917-1: 2007. Ensayo de Compresión.

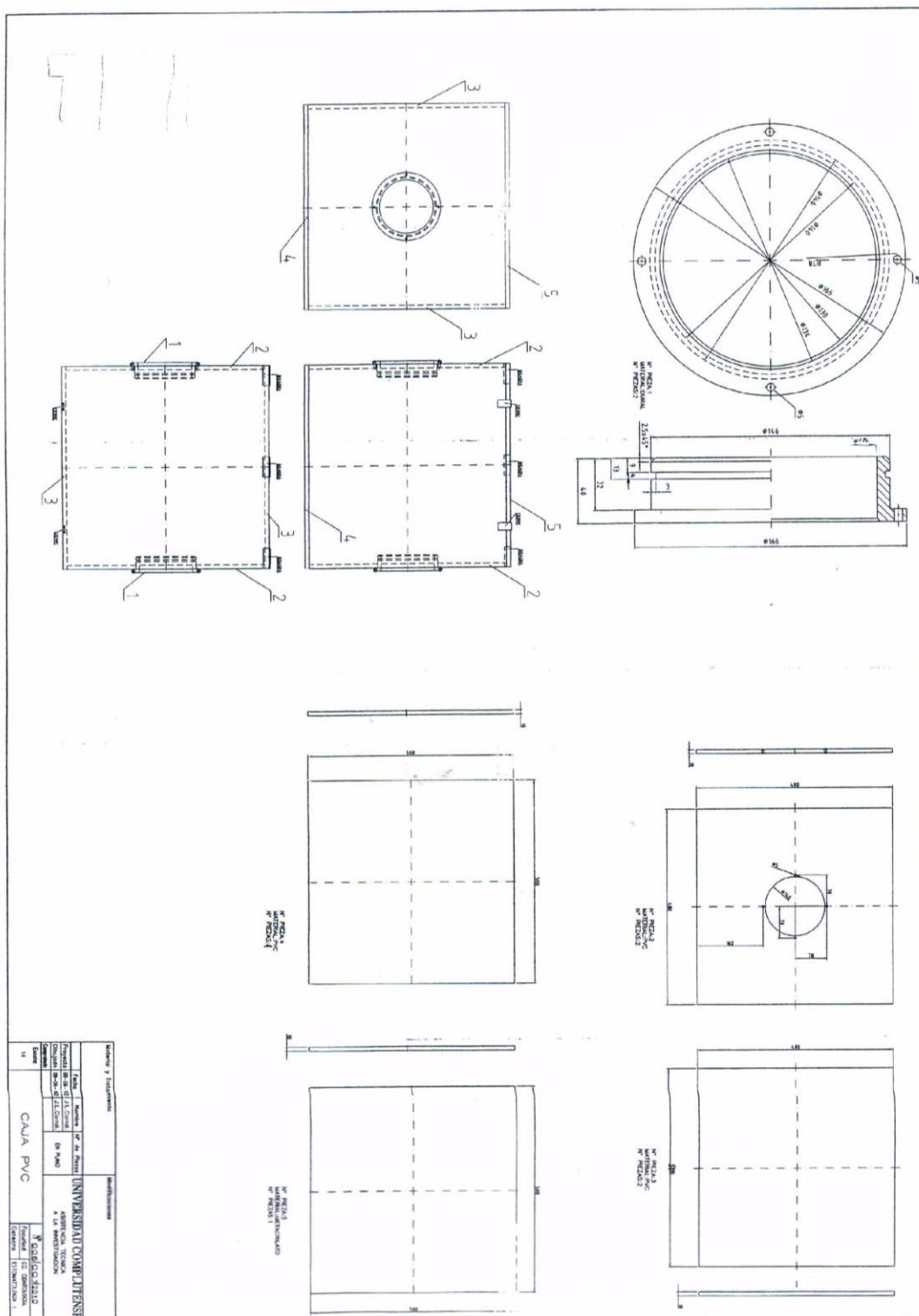
178. Alt V, Hanning M, Wöstmann B, Balkenhol M. Fracture strength of temporary fixed partial dentures: CAD/CAM versus directly fabricated restorations. *Dent Mater* 2011;27(4):339-47.
179. Stawarczyk B, Trottmann A, Fischer J. Carga de rotura convencional o mediante puentes provisionales fabricados mediante tecnología CAD/CAM. *Quintessence técnica (ed. esp.)* 2009;20(2):105-14.
180. Stawarczyk B, Schmutz F, Fischer J, Hans Franz Hämmerlec C. Resistencia a la abrasión de resinas para prótesis provisionales. ¿Son las resinas CAD/CAM más resistentes a la abrasión? *Quintessence técnica (ed. esp.)* 2011;22(2):117-25.
181. Miyazaki T, Hotta Y. CAD/CAM systems available for the fabrication of crown and bridge restorations. *Australian Dental Journal* 2011;56(1 suppl):97-106.
182. Beuer F, Schweiger J, Edelhoff D. Digital dentistry: an overview of recent developments for CAD/CAM generated restorations. *Br Dent J* 2008;204(9):505-11.
183. Miyazaki T, Hotta Y, Kunii J, Kuriyama S, Tamaki Y. A review of dental CAD/CAM: current status and future perspectives from 20 years of experience. *Dent Mater J* 2009;28(1):44-56.
184. Mazaro JV, de Mello CC, Zavanelli AC, Santiago JF Jr, Amoroso AP, Pellizzer EP. An esthetics rehabilitation with computer-aided design/computer-aided manufacturing technology. *J Contemp Dent Pract* 2014;15(4):506-12.
185. Andreiotelli M, Kamposiora P, Papavasiliou G. Digital data management for CAD/CAM technology. An update of current systems. *Eur J Prosthodont Restor Dent* 2013;21(1):9-15.
186. www.voco.es/es/products/_products/Structur_3/Folleto_ES_Structur3. Acceso 20-12-2012.
187. http://solutions.productos3m.es/wps/portal/3M/es_ES/3M_ESPE/Dental-Manufacturers/Products/Dental-Indirect-Restorative/Temporary-Dental/Temporary-Dental-Bridge/?WT.mc_id=Protemp4-GA. Acceso 10-06-2013.
188. <http://www.gceurope.com/products/detail.php?id=134>. Acceso 10-06-2013.

189. Tak O, Altintas SH, Ozturk N, Usumez A. Effect of three types of light-curing units on 5-year colour changes of light-cured composite. *Clin Oral Investig* 2009;13(1):29-35.
190. UNE-EN ISO 4545-2: 2005. Ensayo de dureza Knoop. Parte 2: Verificación y calibración de las máquinas de ensayo.
191. UNE-EN ISO 4545-3: 2005. Ensayo de dureza Knoop. Parte 3: Calibración de los bloques patrón.
192. UNE-EN ISO 4545-4: 2005. Ensayo de dureza Knoop. Parte 4: Tablas de valores de dureza.
193. Gale MS, Darwell BW. Thermal cycling procedures for laboratory testing of dental restorations. *J Dent* 1999;27(2):89-99.
194. El- Araby AM, Talic YF. The effect of thermocycling on the adhesion of self-etching adhesives on dental enamel and dentin. *J Contemp Dent Pract* 2007;8(2):17-24.
195. Catalbas B, Uysal T, Nur M, Demir A, Gunduz B. Effects of thermocycling on the degree of cure of two lingual retainer composites. *Dent Mater* 2010;29(1):41-6.
196. Özel Bektas O, Eren D, Herguner Siso S, Akin GE. Effect of thermocycling on the bond strength of composite resin to bur and laser treated composite resin. *Lasers Med Sci* 2012;27(4):723-8.
197. Nascimento ACS, Muzilli CA, Miranda ME, Flório FM, Basting RT. Evaluation of roughness and micromorphology of epoxy Paint on cobalt-chromium alloy before and after termal cycling. *Braz Oral Res* 2013;27(2):176-82.
198. Melo MAV, Moysés MR, Santos SG, Alcântara CEP, Ribeiro JCR. Effects of different surfaces treatments and accelerated artificial aging on the bond strength of composite resin repairs. *Braz Oral Res* 2011;25(6):485-91.
199. Deng D, Yang H, Guo J, Chen X, Zhang W, Huang C. Effects of different artificial ageing methods on the degradation of adhesive-dentine interfaces. *J Dent* 2014;42(12):1577-85.

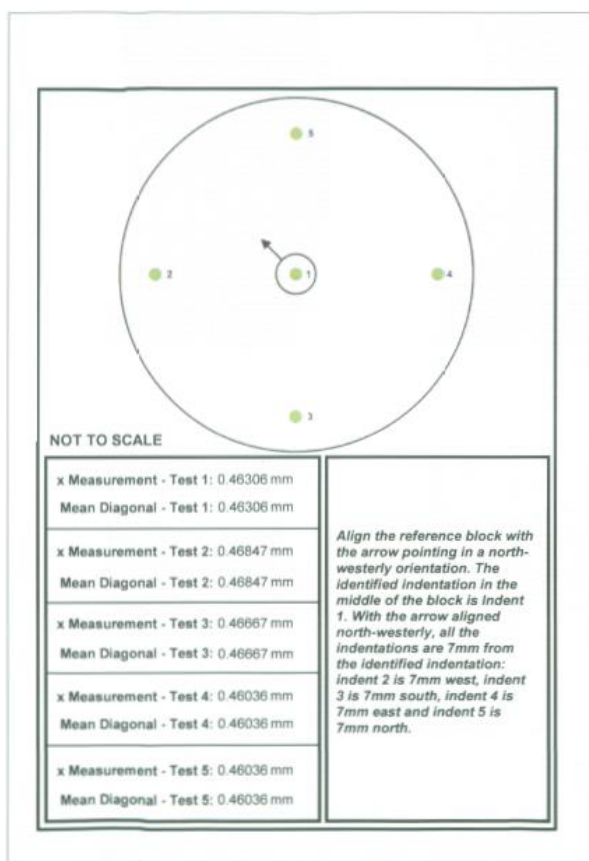
200. Schmid-Schwap M, Graf A, Preinerstorfer A, Watts DC, Piehslinger E, Schedle A. Microleakage after thermocycling of cemented crowns--a meta-analysis. *Dent Mater* 2011;27(9):855-69.
201. Tanoue N, Murakami M, Koizumi H, Atsuta M, Matsumura H. Depth of cure and hardness of the indirect composite polymerized with three laboratory curing units. *J Oral Sci* 2007;49(1):25-9.
202. Cano Batalla J. Evaluación mecánica *in vitro* de tres cementos mediante shear bond strength y mediante restauraciones unitarias sobre implantes con y sin termociclado. Tesis Doctoral. Universitat Internacional de Catalunya. Barcelona, 2010.

VIII. ANEXOS

VIII.1. Planos y certificados de calibración



Plano de la cabina opaca de PVC de dimensiones 50x50x50 cm, empleada para realizar la toma de color de las muestras.



CALIBRATION CERTIFICATE
KALIBRIERZERTIFIKAT
CERTIFICAT DE CALIBRACION
CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO
CERTIFICATO DE CALIBRACIÓN
CERTIFICATO DI CALIBRATURA
СЕРТИФИКАТ КАЛБРОВКИ



定标证书
 校正証明書

EURO PRODUCTS LIMITED



Yardley House, Yardley Street,
 Stourbridge, West Midlands DY9 7AT
 Tel: (01384) 895000
 Fax: (01384) 897000
 E-Mail: sales@europroducts.co.uk
 Website: www.europroducts.co.uk
 APPROVED SIGNATORY
 D. Perkins T. Chandler C. Perkins

Issued By: EURO PRODUCTS CALIBRATION LABORATORY
 Date of Issue: 03 January 2013 Certificate Number: 208690

Customer: Euroodontonica S.L.
 C/ Aeronauticas
 18-20 Pol. Ind. Urtinsa II
 28923 Alcorcon, Madrid
 Spain

Description: HK1 Knoop Reference Hardness Block

Block Serial Number: EP13151256

Date of Calibration: 03 January 2013

Date of Issue: 03 January 2013
 Certificate Number: 208690
 Description: Knoop Reference Hardness Block
 Block Serial Number: EP13151256
 Date of Calibration: 03 January 2013

Calibration Details: The above Reference Hardness Block has been examined in the EURO PRODUCTS calibration laboratory and was found to comply with the requirements of ASTM E384-11" clause A2.3 and EN ISO 45-45-3:2005 section 3. The above Reference Hardness Block value was calibrated on a standardising machine complying with the requirements of EN ISO 4545-3:2005 and ASTM E384-11" clause A2.4, having hardness scales traceable to the UK National Scales as defined by IMGC.

Reference Indenter Identification: E131
 Calibration made at: 23 ± 2°C
 Humidity: < 70%
 Reference Hardness Block Thickness: 10.50 mm

Approved Signatory:

Validity: This Hardness Reference Block is only valid for the scale for which it was calibrated. It is recommended that the duration of the calibration validity should be limited to 5 years. Attention is drawn to the fact that, for Al-alloys and Cu-alloy, the calibration validity could be reduced to 2 to 3 years.

Results: The above Reference Hardness Block was found to comply with the requirements of ASTM E384-11" clause A2.6 and EN ISO 4545-3:2005 section 7, and the hardness values obtained are given below:

Mean Hardness Value:	66.2	HK1
Maximum Hardness Value:	67.1	HK1
Minimum Hardness Value:	64.8	HK1

Uniformity of Hardness on Indentation Size (%): 1.8 %
 Uniformity of Hardness on Indentation Size (mm): 0.0081 mm
 Standard Deviation of measured diagonal: 0.0036830 mm
 Mean Diagonal (of 5 tests): 0.46378 mm
 Reference Indentation x Measurement: 0.46306 mm
 Reference Indentation Mean Measurement: 0.46306 mm

If non-uniformity U is greater than 0.001mm, then U_{rel} needs to be less than or equal to the percentages indicated in table 1. BS EN 4545-3.

In all cases, the repeatability limit is the greater of the percentage given or 1µm. ASTM E384-11".

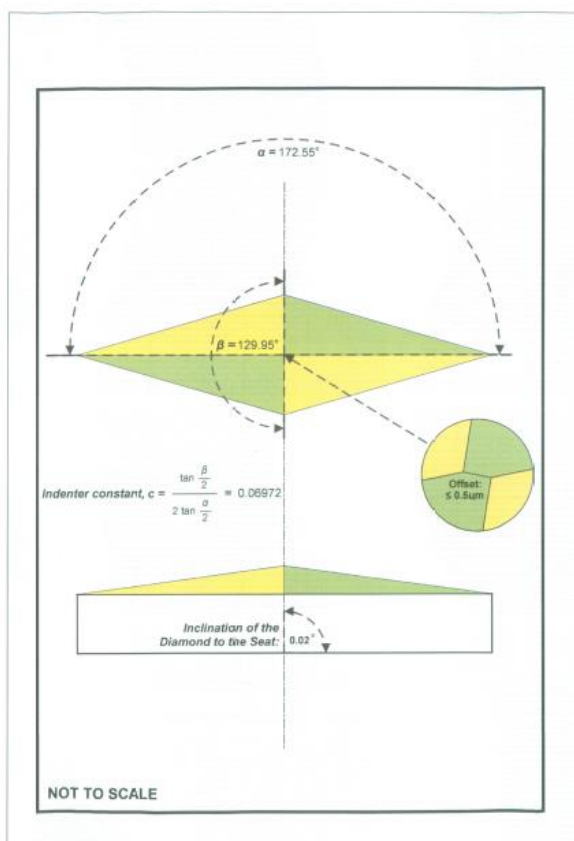
EN ISO 4545-3 2005 Tolerances Table 1			ASTM E384-11" Tolerances Table A1.5		
HK Value	Force, gf	Max rel %	HK Value	Force, gf	R, %
100 to 200	10 to 100	8	Over 0	1 to 100	12
200 to 250	10 to 100	5	Under 100	100 to 1000	12
250 to 650	10 to 100	4	100 to 240	1 to 500	12
>650	10 to 100	3	240 to 600	1 to 500	4
100 to 250	100 to 500	7	Over 600	1 to 500	3
250 to 650	100 to 500	4	100 to 240	500 to 1000	7
> 650	100 to 500	3	240 to 600	500 to 1000	3
100 to 250	500 to 2000	4	Over 600	500 to 1000	2
250 to 650	500 to 2000	3			
> 650	500 to 2000	2			

Uncertainty of Measurement: 1% HK
 Indentation Size: 1µm
 Thickness: ± 0.005mm

The reported expanded uncertainty is based on a standard uncertainty multiplied by a coverage factor $K=2$, providing a level of confidence of approximately 95%. The uncertainty evaluation has been carried out in accordance with International requirements.

This certificate is issued in accordance with the laboratory accreditation requirements of the United Kingdom Accreditation Service. It provides traceability of measurement to recognised national standards, and to units of measurement realised at the National Physical Laboratory or other recognised national standards laboratories. This certificate may not be reproduced other than in full, except with the prior written approval of the issuing laboratory.

Certificado de calibración Knoop



CALIBRATION CERTIFICATE
KALIBRIERZERTIFIKAT
CERTIFICAT DE CALIBRACION
CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO
CERTIFICATO DI CALIBRATURA
СЕРТИФИКАТ КАЛБРОВКИ
 定标证书
 校正証明書



EURO PRODUCTS LIMITED



Yardley House, Yardley Street,
 Stourbridge, West Midlands DY9 7AT
 Tel: (01384) 895000
 Fax: (01384) 897000
 E-Mail: sales@europroducts.co.uk
 Website: www.europroducts.co.uk
APPROVED SIGNATORY
 D. Perkins T. Chandler C. Perkins

Issued By: **EURO PRODUCTS CALIBRATION LABORATORY**

Date of Issue: 11 January 2013 Certificate Number: 209016

Customer: Euroortodonica S.L.
 C/ Aeronauticas
 18-20 Pol. Ind. Urtinsa II
 28923 Alcorcon, Madrid
 Spain

Description: Knoop Testing Indenter

Knoop Indenter Number: 117299

Indenter Model/Type: Future FV800

SKU: KNOOPHIU

Date of Calibration: 11 January 2013

Date of Issue: 11 January 2013

Certificate Number: 209016

Description: Knoop Testing Indenter

Knoop Indenter Number: 117299

Date of Calibration: 11 January 2013

Calibration Details: The above Knoop Testing Indenter has been examined in the EURO PRODUCTS calibration laboratory and was found to comply with the requirements of ASTM E384:11" clause A1.3 and BS EN ISO 4545-2:2005 section 4.3.

Calibration made at: 23 ± 2°C

Humidity: < 70%

Approved Signatory:

Validity: It is recommended that direct verification of the Knoop Indenter be carried out at intervals of no greater than 2 years, as per Table 3 BS EN ISO 4545-2.

Results: The calibration results showed that the above Knoop Testing Indenter was found to comply with the requirements of ASTM E384:11" and BS EN ISO 4545-2:2005.

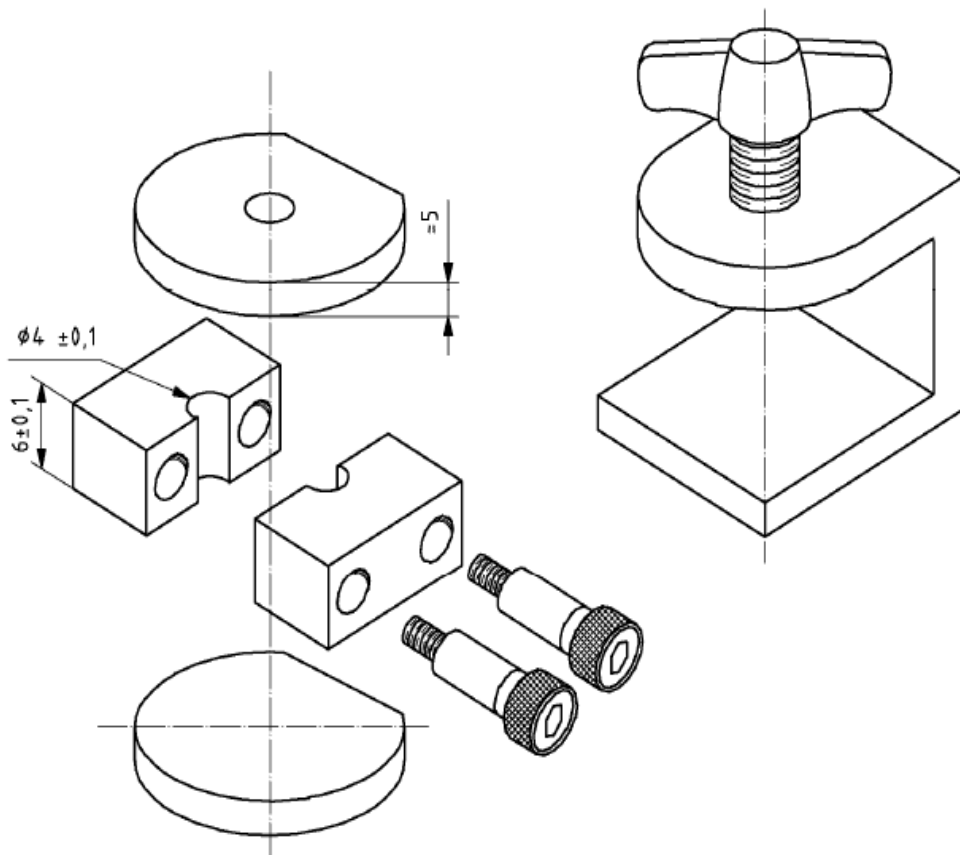
	Included longitudinal edge angle	Included transverse edge angle	Constant	Inclination of the axis of the diamond pyramid to the axis of the indenter	Line of the junction between opposite faces
	α	β	c		
Nominal Value	172.50°	130.00°	0.07028	172.50° 130.00°	1.0µm for >15µm indents 0.5µm for <15µm indents
Standard Specifications	172.50° ± 0.1°	130.00° ± 1.0°	± 1%	172.50° ± 0.5° 130.00° ± 0.5°	As above
Actual Mean Measurement	172.55°	129.95°	0.06972	0.02°	0.45 µm
Uncertainty of Measurement	0.05°	0.05°		0.05°	≤ 0.5µm

The reported expanded uncertainty is based on a standard uncertainty multiplied by a coverage factor $K=2$, providing a level of confidence of approximately 95%. The uncertainty evaluation has been carried out in accordance with International requirements.

This certificate is issued in accordance with the laboratory accreditation requirements of the United Kingdom Accreditation Service. It provides traceability of measurement to recognised national standards, and to units of measurement realised at the National Physical Laboratory or other recognised national standards laboratories. This certificate may not be reproduced other than in full, except with the prior written approval of the issuing laboratory.

Calibración Knoop

Medidas en milímetros



Molde y mordaza para la preparación de probetas para el ensayo de resistencia a la compresión, tal y como se detalla en la norma UNE-EN ISO 9917-1:2007.⁽¹⁷⁶⁾

VIII.2. Tablas de datos

A continuación se adjuntan las tablas con todos los datos obtenidos a lo largo del proyecto de investigación, referente a:

-Estabilidad cromática Grupo 1.

-Estabilidad cromática Grupo 2.

-Estabilidad cromática Grupo 3.

-Fluorescencia Grupo 1.

-Fluorescencia Grupo 2.

-Fluorescencia Grupo 3.

-Microdureza Knoop Grupo 1.

-Microdureza Knoop Grupo 2.

-Microdureza Knoop Grupo 3.

-Resistencia a la flexión Grupo 1.

-Resistencia a la flexión Grupo 2.

-Resistencia a la flexión Grupo 3.

(Las gráficas de flexión donde se refleja el comportamiento de cada muestra de manera individual, quedan adjuntas a este trabajo en formato CD (ver anexo VIII.4 en CD-ROM)).

-Resistencia a la compresión Grupo 1.

-Resistencia a la compresión Grupo 2.

-Resistencia a la compresión Grupo 3.

Microdureza KNOOP GRUPO 1

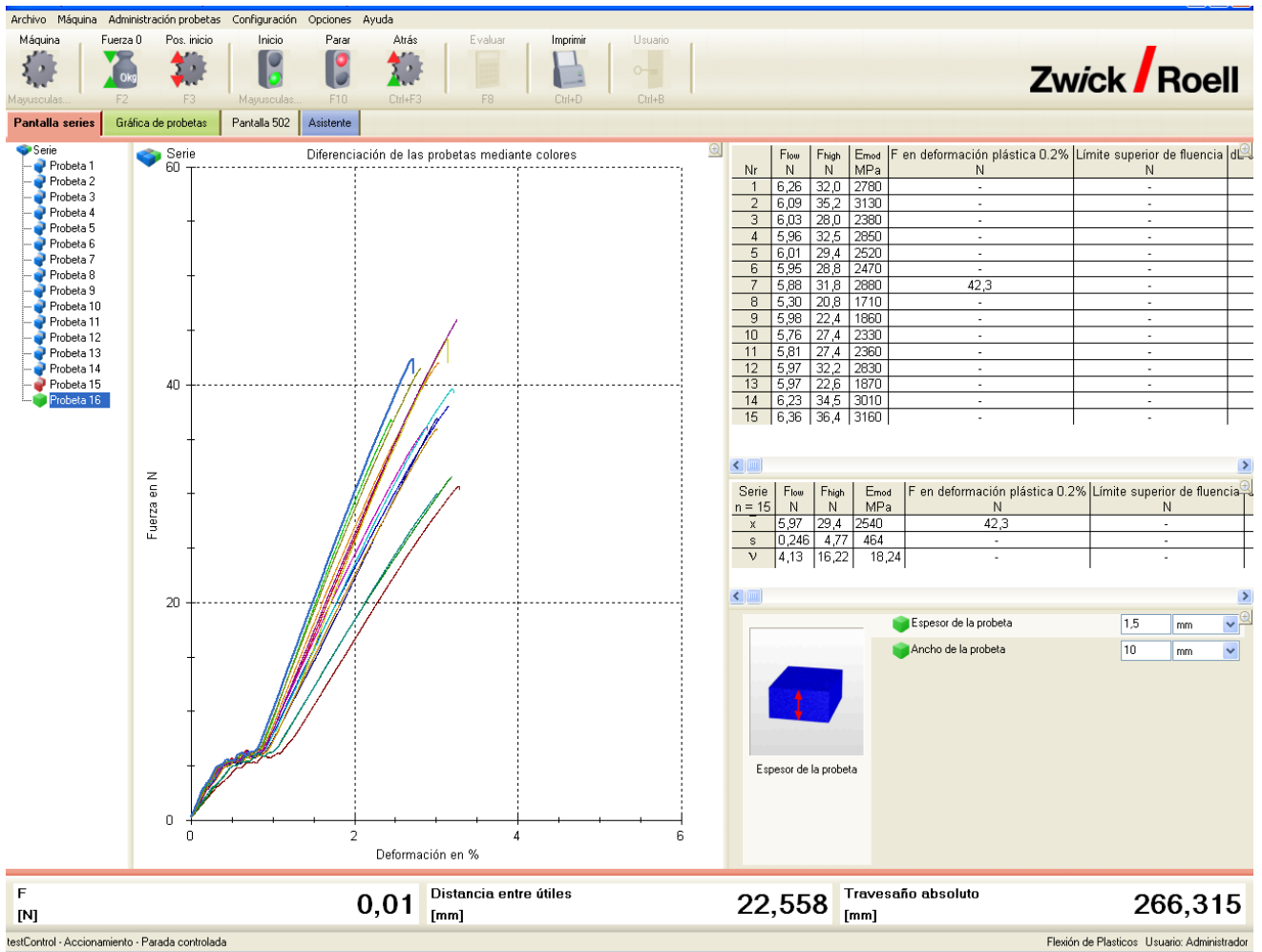
T0			T180		
samples	d (mm)	HK	samples	d (mm)	HK
1,5.1	1,0326	13,4559612	1,5.1	1,057	12,8418914
1,5.2	1,0456	13,1234439	1,5.2	0,9874	14,7160997
1,5.3	1,0185	13,8311058	1,5.3	0,8909	18,0767791
1,5.4	1,0522	12,9593248	1,5.4	1,0481	13,0609127
1,5.5	1,0815	12,2666485	1,5.5	1,0527	12,9470171
1,5.6	1,0436	13,1737928	1,5.6	0,9101	17,3221079
1,5.7	1,057	12,8418914	1,5.7	0,9056	17,4946856
1,5.8	1,047	13,0883713	1,5.8	1,0113	14,0287493
1,5.9	1,0422	13,2092096	1,5.9	1,0481	13,0609127
1,5.10	1,0008	14,3246617	1,5.10	0,9815	14,8935546
1,5.11	1,0535	12,9273614	1,5.11	1,0454	13,1284658
1,5.12	1,0269	13,6057555	1,5.12	0,9816	14,8905202
1,5.13	1,0369	13,3445895	1,5.13	0,9487	15,9412058
1,5.14	1,0463	13,10589	1,5.14	0,9484	15,9512925
1,5.15	1,0169	13,874664	1,5.15	1,0238	13,6882749
2.1	1,0588	12,7982651	2.1	1,0506	12,9988274
2.2	1,0493	13,0310564	2.2	1,0387	13,298379
2.3	1,0256	13,6402693	2.3	0,8971	17,8277796
2.4	1,049	13,0385108	2.4	error. Invalidamos la muestra	#¡VALOR!
2.5	1,0606	12,7548608	2.5	0,9958	14,4688737
2.6	1,0579	12,8200505	2.6	1,0461	13,1109018
2.7	1,0487	13,0459717	2.7	0,9477	15,9748654
2.8	1,0747	12,4223703	2.8	1,0565	12,8540494
2.9	1,0513	12,9815228	2.9	0,8835	18,3808614
2.10	1,0422	13,2092096	2.10	1,031	13,497758
2.11	1,0484	13,053439	2.11	0,7962	22,6326091
2.12	1,0487	13,0459717	2.12	1,0403	13,2575041
2.13	1,0436	13,1737928	2.13	0,979	14,9697168
2.14	1,045	13,1385182	2.14	0,9174	17,0475313
2.15	1,0492	13,0335405	2.15	0,9883	14,6893094

Microdureza KNOOP GRUPO 2

T0			T180		
samples	d (mm)	HK	samples	d (mm)	HK
1,5.1	0,8098	21,8787962	1,5.1	0,9224	16,8632151
1,5.2	0,9862	14,7519344	1,5.2	1,0001	14,3447213
1,5.3	0,8377	20,4456978	1,5.3	0,7868	23,1766289
1,5.4	0,8372	20,4701266	1,5.4	0,8662	19,1224093
1,5.5	0,8298	20,836852	1,5.5	0,8056	22,1075214
1,5.6	0,8045	22,1680183	1,5.6	0,7957	22,6610617
1,5.7	0,8101	21,8625947	1,5.7	0,8303	20,811764
1,5.8	0,7898	23,0008936	1,5.8	0,8694	18,9819007
1,5.9	0,8642	19,2110209	1,5.9	0,7727	24,0301867
1,5.10	0,8926	18,0079885	1,5.10	0,7992	22,4630135
1,5.11	0,8922	18,0241391	1,5.11	0,9532	15,7910461
1,5.12	0,8306	20,7967329	1,5.12	0,8464	20,0275424
1,5.13	0,9446	16,0798905	1,5.13	0,8701	18,9513709
1,5.14	0,8747	18,7525666	1,5.14	/	#¡VALOR!
1,5.15	0,8662	19,1224093	1,5.15	0,8674	19,0695363
2.1	0,9222	16,8705302	2.1	0,8891	18,1500468
2.2	0,841	20,2855589	2.2	0,8127	21,7229323
2.3	1,06	12,7693043	2.3	0,8445	20,1177618
2.4	0,812	21,7604018	2.4	0,8214	21,2652049
2.5	0,8369	20,4848049	2.5	0,7954	22,678159
2.6	0,8397	20,3484186	2.6	0,7649	24,5227769
2.7	0,9141	17,1708404	2.7	0,8708	18,9209147
2.8	0,9262	16,7251267	2.8	0,8563	19,5671278
2.9	0,8418	20,2470207	2.9	0,9672	15,337211
2.10	0,8428	20,1990021	2.10	0,837	20,4799104
2.11	0,8363	20,514209	2.11	0,8375	20,4554641
2.12	0,8751	18,7354272	2.12	0,9079	17,4061586
2.13	0,8491	19,9003762	2.13	0,8292	20,8670176
2.14	0,7604	24,8138843	2.14	0,8937	17,9636859
2.15	0,8224	21,2135213	2.15	/	#¡VALOR!

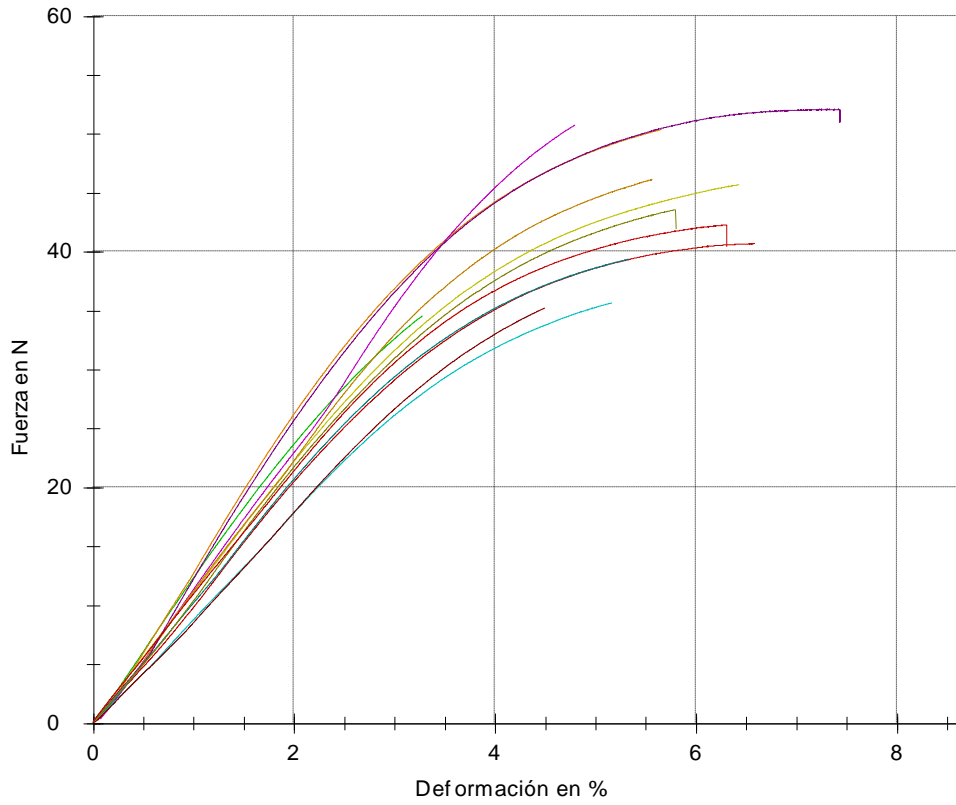
Microdureza KNOOP GRUPO 3

T0			T180		
samples	d (mm)	HK	samples	d (mm)	HK
1,5.1	0,7822	23,4500269	1,5.1	0,9931	14,5476554
1,5.2	0,8405	20,3097012	1,5.2	0,9741	15,1206995
1,5.3	1,0094	14,0816118	1,5.3	0,9342	16,4399027
1,5.4	0,9938	14,5271688	1,5.4	0,909	17,364057
1,5.5	0,9555	15,7151158	1,5.5	0,8668	19,0959454
1,5.6	0,8486	19,923834	1,5.6	0,9782	14,9942122
1,5.7	0,7961	22,6382953	1,5.7	0,8342	20,6176232
1,5.8	0,8695	18,9775348	1,5.8	0,8464	20,0275424
1,5.9	0,9271	16,6926699	1,5.9	0,8366	20,499499
1,5.10	0,8797	18,5400023	1,5.10	0,8851	18,3144671
1,5.11	0,9711	15,2142679	1,5.11	0,8665	19,1091705
1,5.12	0,8687	19,0125043	1,5.12	0,9711	15,2142679
1,5.13	1,0314	13,4872906	1,5.13	0,7835	23,3722739
1,5.14	0,8105	21,8410207	1,5.14	0,9402	16,2307458
1,5.15	1,0515	12,976585	1,5.15	0,9585	15,6168966
2.1	0,8558	19,5899986	2.1	0,7544	25,2101604
2.2	1,0552	12,8857412	2.2	0,8815	18,4643632
2.3	1,0429	13,1914834	2.3	1,0285	13,5634564
2.4	1,0453	13,1309778	2.4	0,8081	21,9709459
2.5	0,9427	16,1447734	2.5	0,905	17,5178906
2.6	1,0425	13,2016083	2.6	0,926	16,7323521
2.7	1,0634	12,6877805	2.7	0,8678	19,0519607
2.8	1,0783	12,3395624	2.8	0,9101	17,3221079
2.9	1,023	13,7096921	2.9	0,9126	17,2273326
2.10	0,9005	17,6934097	2.10	0,8611	19,349591
2.11	0,7904	22,9659865	2.11	0,8403	20,3193701
2.12	0,9964	14,4514535	2.12	1,011	14,0370762
2.13	1,0483	13,0559295	2.13	0,8327	20,69197
2.14	1,0131	13,9789431	2.14	0,9085	17,3831751
2.15	1,0446	13,1485822	2.15	0,9695	15,2645267

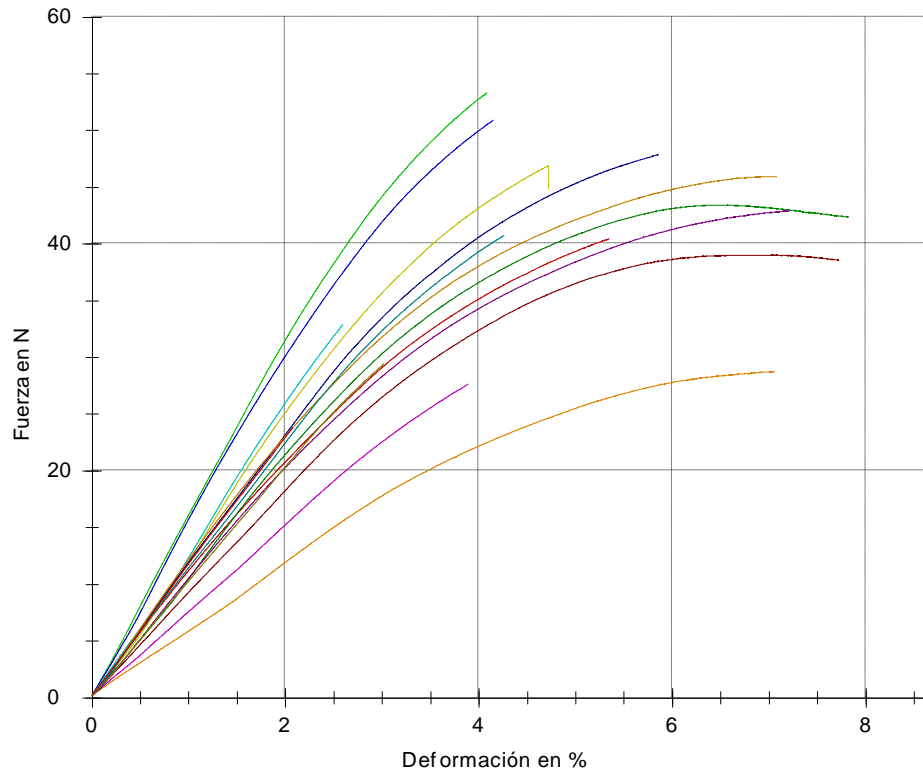


Las siguientes gráficas fueron obtenidas durante el ensayo de Flexión en 3 puntos, gracias al software testXpert II vinculado a la máquina de ensayos universal Zwick/Roell, del Departamento de Ingeniería de la empresa Euro Ortodoncia S.L.

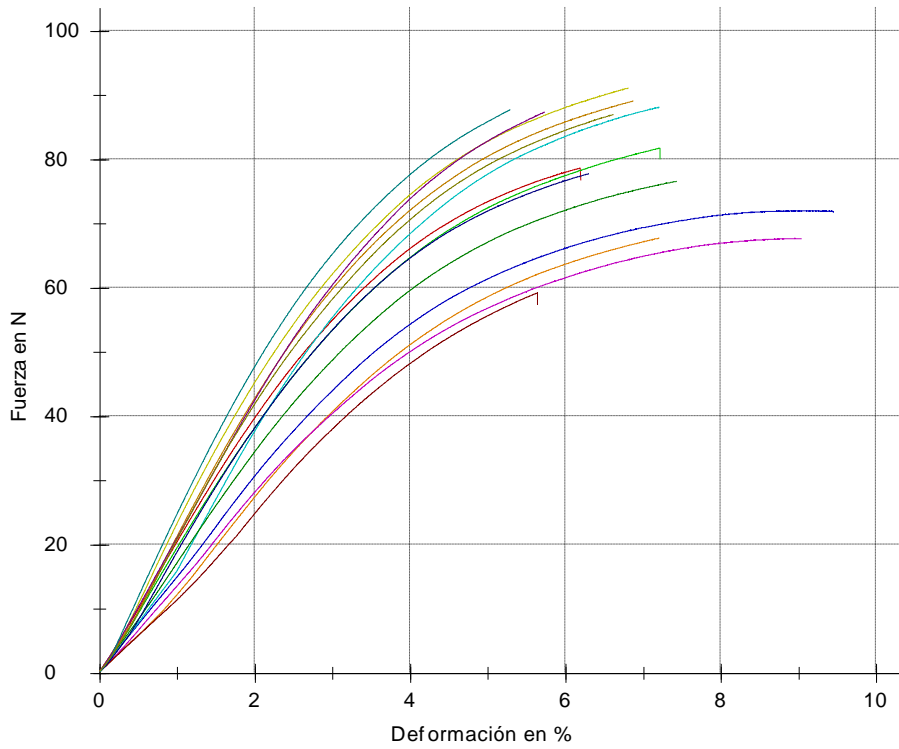
Flexión GRUPO 1. Muestras de 1,5 mm (T0)



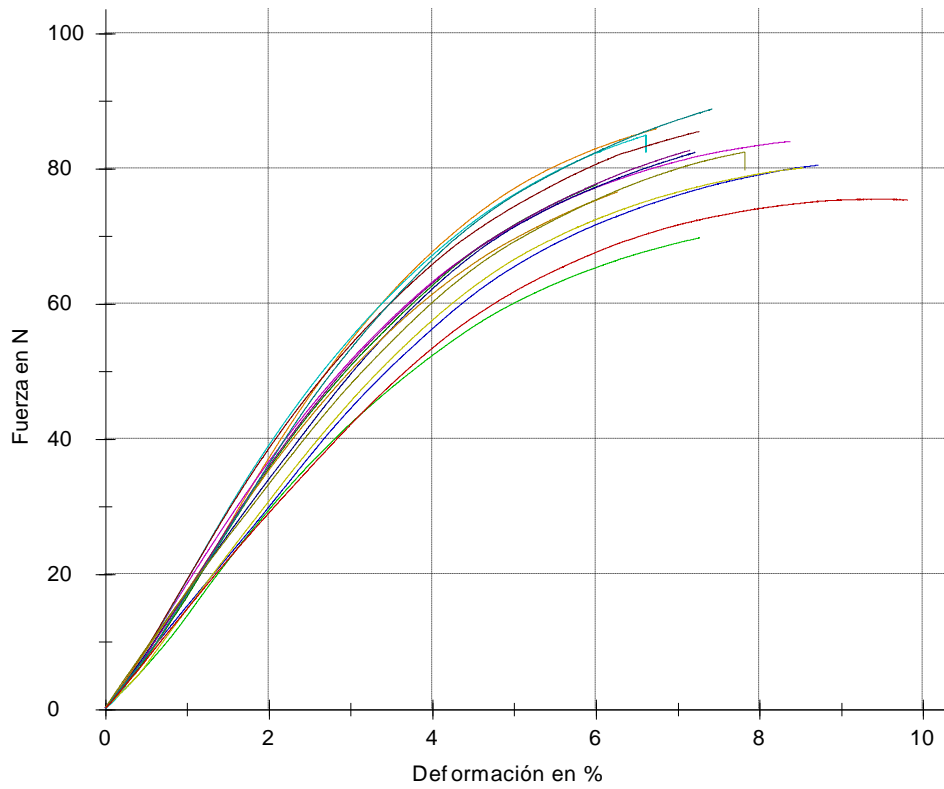
Flexión GRUPO 1. Muestras de 1,5mm (T180)



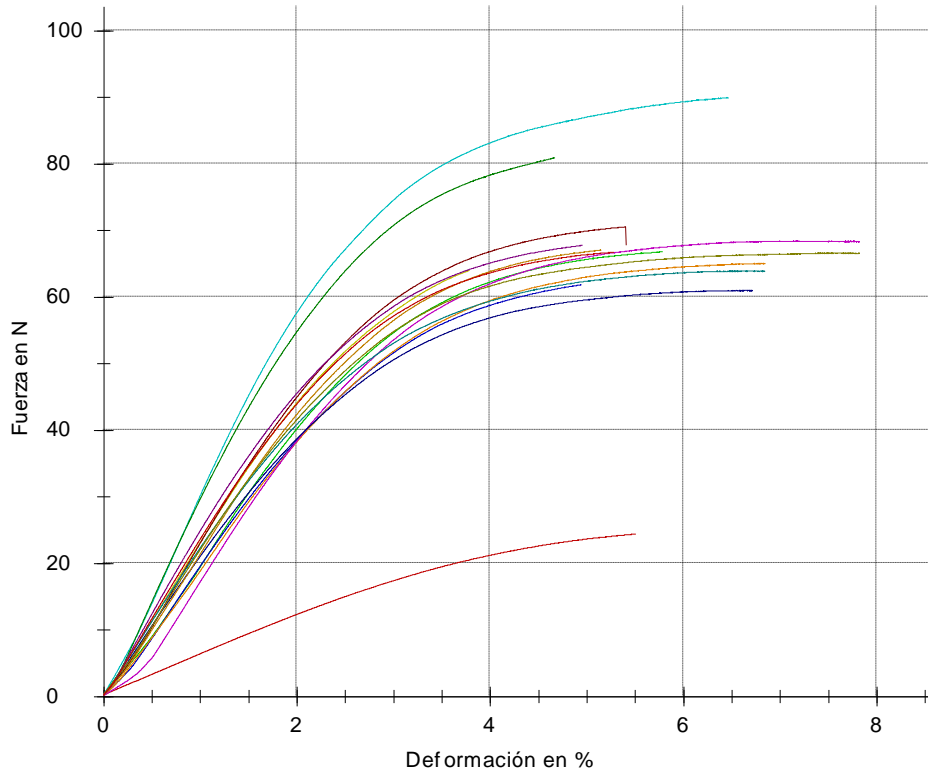
Flexión GRUPO 1. Muestras de 2 mm (T0)



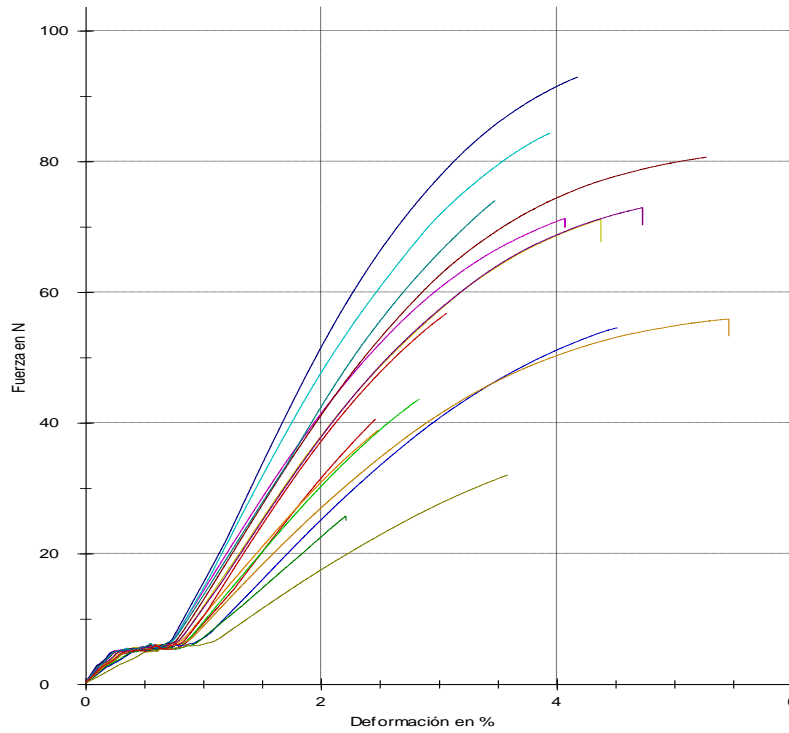
Flexión GRUPO 1. Muestras de 2mm (T180)



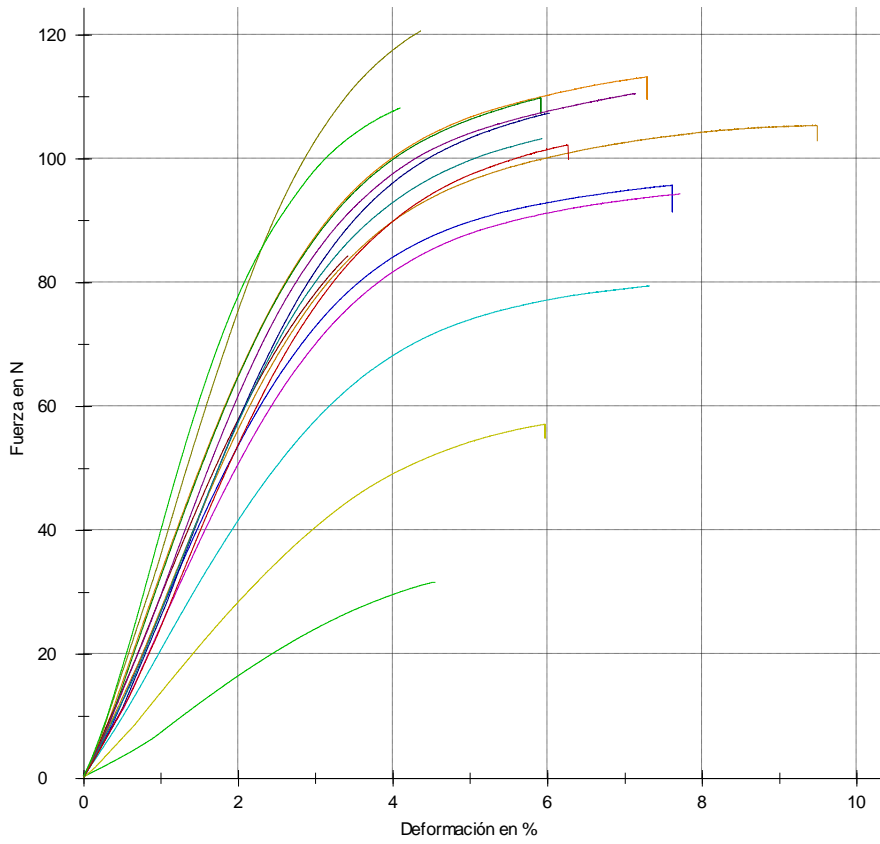
Flexión GRUPO 2. Muestras de 1,5 mm (T0)



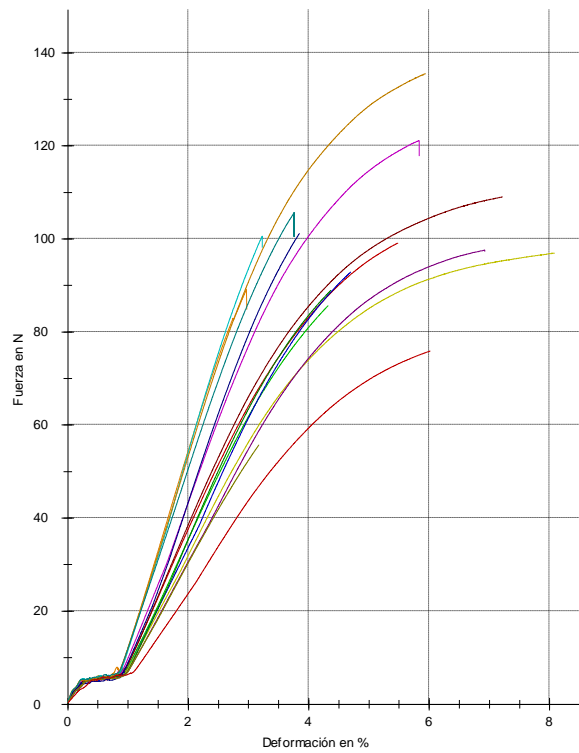
Flexión Grupo 2. Muestras de 1,5 mm (T180)



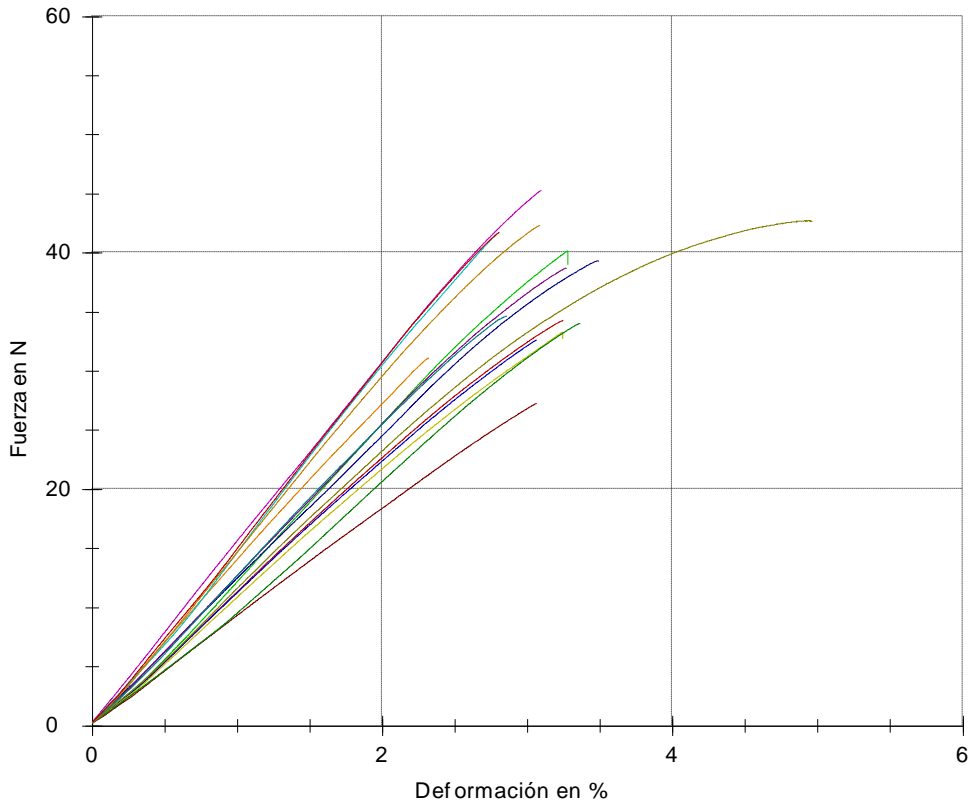
Flexión GRUPO 2. Muestras de 2 mm (T0)



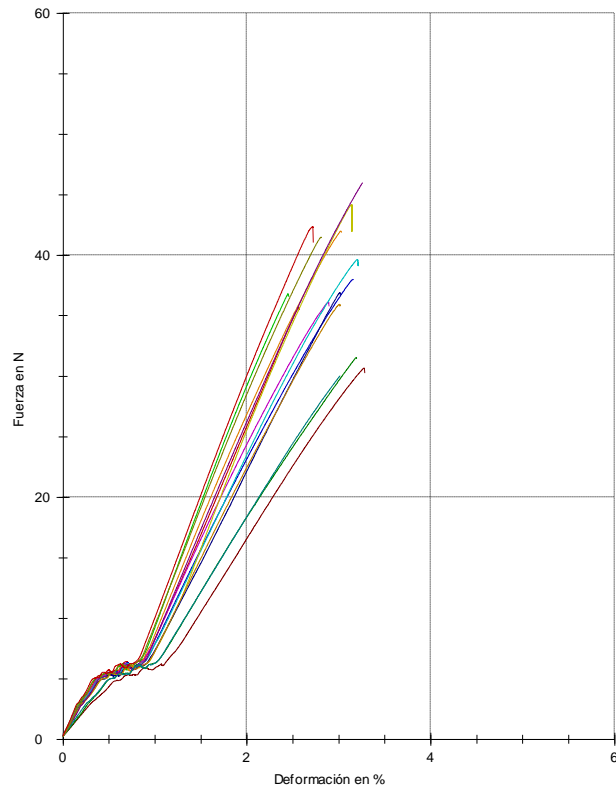
Flexión GRUPO 2. Muestras de 2 mm (T180)



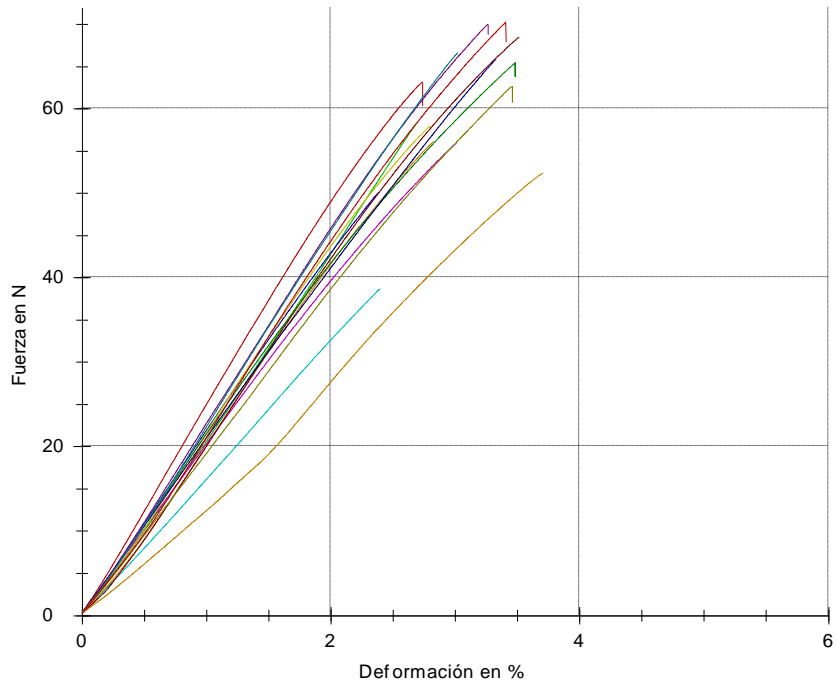
Flexión GRUPO 3. Muestras de 1,5 mm (T0)



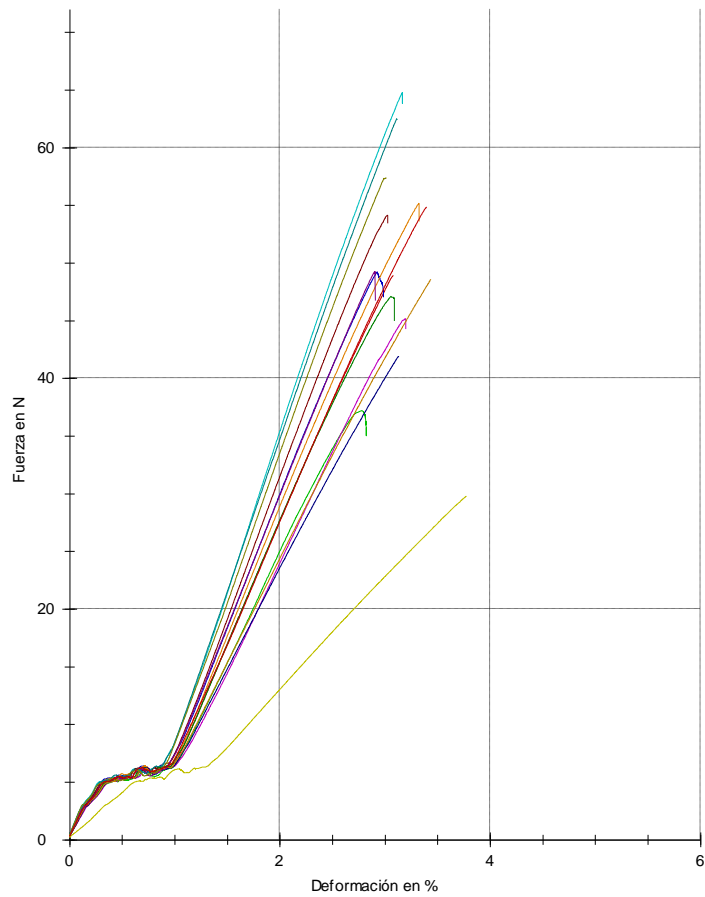
Flexión GRUPO 3. Muestras de 1,5 mm (T180)



Flexión GRUPO 3. Muestras de 2 mm (T0)



Flexión GRUPO 3. Muestras de 2 mm (T180)



Resistencia a la compresión GRUPO 1

<u>T0</u>		
samples	Top strength applied, in Newton (N)	Compressive strength (Mpa)
1	3418,097	272,0035168
2	3470,322	276,1594502
3	3313,652	263,6920477
4	3458,527	275,2208339
5	3087,912	245,7282293

<u>T180</u>		
samples	Top strength applied, in Newton (N)	Compressive strength (Mpa)
1	2821,741	224,5470141
2	2227,07	177,2245996
3	2845,325	226,4237692
4	2626,324	208,9962234
5	2894,18	230,3115266

Resistencia a la compresión GRUPO 2

<u>T0</u>		
samples	Top strength applied, in Newton (N)	Compressive strength (Mpa)
1	3947,067	314,0976119
2	3620,251	288,0904209
3	3869,576	307,931074
4	3364,189	267,7136544
5	3271,536	260,340563

<u>T180</u>		
samples	Top strength applied, in Newton (N)	Compressive strength (Mpa)
1	2932,926	233,3948353
2	2769,518	220,3912398
3	2944,717	234,3331333
4	2948,088	234,6013889
5	2852,066	226,960201

Resistencia a la compresión GRUPO 3

<u>T0</u>		
samples	Top strength applied, in Newton (N)	Compressive strength (Mpa)
1	2990,204	237,9528737
2	3374,296	268,5179439
3	3153,612	250,9564692
4	2840,273	226,0217438
5	3008,736	239,4276034

<u>T180</u>		
samples	Top strength applied, in Newton (N)	Compressive strength (Mpa)
1	2841,957	226,1557523
2	3057,589	243,3152016
3	3089,596	245,8622378
4	2799,841	222,8042675
5	2877,335	228,9710441

