

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

Facultad de Odontología

Departamento de Odontología Conservadora y Prótesis Bucofacial

Máster Oficial en Ciencias Odontológicas



**ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES ÓPTICAS
EN CORONAS PROVISIONALES CONFECCIONADAS POR
CAD/CAM MEDIANTE FRESADO Y POR TÉCNICA DE
IMPRESIÓN 3D.**

Tutor: Prof. Miguel Gómez-Polo

Trabajo de fin de Máster de:

Ingrid Misu

AÑO ACADÉMICO 2017-2018

ÍNDICE

1. Introducción	5
1.1 Importancia clínica de las coronas provisionales	
1.2 Propiedades ópticas	
1.3 Confección CAD/CAM de las coronas provisionales	
1.4 Espectrofotometría	
2. Hipótesis.....	16
3. Justificación.....	16
4. Objetivos.....	16
5. Material y métodos.....	17
5.1 Secuencias por fases de protocolo	
5.2 Análisis de los datos	
6. Resultados.....	26
7. Discusión	36
8. Conclusiones	42
9. Referencias	43
10. Anexos	46

RESUMEN

Introducción y objetivos: Los sistemas CAD/CAM (diseño asistido por ordenador/fabricación asistido por ordenador) para la fabricación de prótesis dentales son una realidad de nuestros días. Dentro de los mecanismos de confección de prótesis provisionales, el más empleado es el fresado a partir de discos de diferentes materiales. Sin embargo, en los últimos años estamos viviendo el desarrollo de impresoras 3D, que incorporan polímeros destinados a la obtención de este tipo de restauraciones. El objetivo de este estudio es comparar las propiedades ópticas (transmitancia directa, parámetro de translucidez, relación de contraste, parámetro de opalescencia) de un fotopolímero empleado para la confección de provisionales CAD/CAM mediante técnica de impresión 3D con las de un PMMA (Poli Metil Metacrilato), realizado por técnica de fresado.

Material y métodos: Para calcular la transmitancia directa (T%) mediante el espectrofotómetro UV, se emplearon probetas de 45x10x1mm (n=10), con material para provisionales CAD/CAM mediante la técnica de impresión 3D (n=5) y la técnica de fresado (n=5), Se realizaron mediciones con una longitud de onda con un rango de 400 a 780 nm con intervalo de datos de 5nm. Los valores medios de T% se recogieron en una tabla para longitud de onda de 400, 510 y 780nm.

Por otro lado, para la translucidez, la tasa de contraste y la opalescencia mediante el espectrofotómetro se realizaron provisionales CAD/CAM color A3,5 (Vita Classic) para un incisivo central, que se obtendrán mediante técnica de impresión 3D (Sheraprint-cb A3,5) en el grupo A (n=5) o de fresado (Telio CAD A3,5) en el grupo B (n=5). Los resultados se obtuvieron mediante medición con espectrofotómetro dental Vita Easysshade. Las mediciones se realizaron tanto sobre un muñón negro (fondo negro) como sobre un muñón blanco (fondo blanco).

Se emplearon distintos tests para el análisis de datos, con el fin de evaluar si hay diferencias estadísticamente significativas entre los dos grupos, con un intervalo de confianza del 95%.

Resultados: Después de realizar las mediciones, se llevó a cabo el análisis estadístico, con el fin de comparar las propiedades ópticas (transmitancia directa, parámetro de translucidez, relación de contraste, parámetro de opalescencia) entre los provisionales obtenidos mediante técnica de impresión 3D y los obtenidos mediante fresado CAD/CAM.

Tras la realización de los distintos tests para el análisis de datos, podemos confirmar la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre los dos grupos a partir de la medición de la transmitancia directa (TD) A 510 nm, incrementándose en la medición de 780 nm, siendo los valores más elevados en el grupo de PMMA fresado ($p < .01$). Sin embargo, no hubo diferencias respecto al parámetro de translucidez y a la relación de contraste entre ambos grupos, al igual que en el caso de la opalescencia ($p > .05$)

Conclusiones: Al evaluar la translucidez, podemos confirmar que el grupo de PMMA fresado presentaba valores más elevados respecto a la transmitancia directa (TD). En cuanto al parámetro de translucidez y a la relación de contraste, el hecho de que no haya diferencias entre los grupos parece deberse al tamaño muestral, lo que nos lleva a pensar que el grupo de impresora 3D presenta una mayor translucidez.

Por último, al analizar la opalescencia, vemos que hay una clara igualdad entre el material provisional empleado en la técnica de impresión 3D y el PMMA fresado.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Importancia clínica de las coronas provisionales

Los materiales de restauración provisional son un complemento importante para una variedad de procedimientos dentales indirectos, como incrustaciones, onlays, coronas, puentes y temporización de implantes. (1) Actualmente, la restauración provisional tiene un papel fundamental en la determinación del éxito o fracaso de la restauración definitiva (2).

Además, los materiales provisionales son particularmente importantes durante la temporización anterior a largo plazo, ya que representan un paso fundamental para decidir la sombra, la forma y el contorno de la restauración final, especialmente en reconstrucciones estéticas complejas. Para satisfacer con éxito los requisitos antes mencionados, estos materiales deben poseer una serie de propiedades mecánicas, físicas y ópticas ideales.

Un provisional ayuda a estabilizar la preparación dentaria durante la función oclusal y previene la exposición de los tejidos dentales a las duras condiciones que se encuentran dentro de la cavidad oral, mientras se confecciona la restauración definitiva. Las restauraciones provisionales precisas son esenciales y cumplen una serie de funciones como la protección de los tejidos pulpares, previenen la contaminación bacteriana y fomentan la preservación de los tejidos periodontales. Además, evitan la rotación del diente desde su posición normal en términos de supra o infra oclusión, y mantienen la estética y las funciones orales, como la masticación y el habla (3).

Es por ello por lo que estas restauraciones se utilizan como una etapa intermedia para la colocación a corto o largo plazo en los dientes, entre el momento de la preparación del diente y hasta la realización de la prótesis final.

La demanda de restauraciones provisionales con colores similares a los

del diente ha incrementado en los últimos años debido a la mejora de las técnicas y a la demanda del paciente. Por lo tanto, el uso de nuevos materiales de restauración, con excelentes propiedades mecánicas, es esencial tanto para el provisional como para la restauración definitiva (1, 3).

1.2 Propiedades ópticas

Como mencionábamos anteriormente, el aspecto estético de una restauración debe coincidir con el de los tejidos dentales circundantes. Esto requiere que las propiedades ópticas del material restaurador sean similares a las de los dientes naturales. Un diente, como la mayoría de los tejidos biológicos, refleja, difunde, absorbe y transmite la luz que alcanza su superficie. Por lo tanto, para unos resultados estéticos aceptables, tiene que haber una coincidencia favorable respecto a los tonos de las restauraciones controlando la absorción, la reflexión y transmisión de materiales provisionales (4,5).

Se han descrito muchos métodos para evaluar la reflectancia y la transmitancia de la luz, así como el color, con el fin de entender los fenómenos que ocurren cuando la luz choca con un objeto. La Comisión Internacional de Iluminación (CIE) ha sido la responsable de introducir los principales conceptos de sistemas de color y diferencia de color (ΔE) y los patrones de iluminación utilizados en la ciencia (4,5).

Considerando el sistema CIELAB, ΔE es el parámetro estándar para la percepción de coincidencia de colores. Sin embargo, sólo considera el espacio de color CIELAB, donde L^* es la coordenada de valor; a^* la coordenada rojo/verde y b^* la coordenada amarillo/azul (*Fig. 1*) sin tener en cuenta otros componentes y factores que influyen en la percepción del color, tales como: translucidez, opalescencia, fluorescencia y textura de la superficie (4,5).

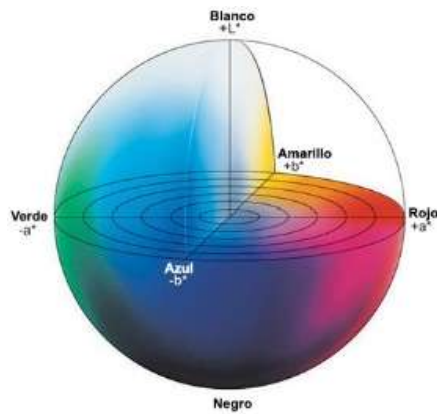


Fig. 1 Sistema CIELAB

Dentro de las propiedades ópticas que tienen importancia a la hora de la realización de una restauración, cabe destacar la translucidez y la opalescencia.

1.2.1 Translucidez

La translucidez es uno de los principales factores para controlar estética y es fundamental en la selección de materiales, dado que la composición de los mismos puede influir en las propiedades ópticas (5).

Se trata de una propiedad de un material que ocurre cuando el rayo de luz, al atravesarlo, está parcialmente disperso, reflejado, y transmitido a través del objeto. Cuanto mayor es la cantidad de luz que pasa a través del objeto, mayor es la translucidez del material, por lo que se puede describir como un estado entre la opacidad completa y la transparencia. Cuando se combina el color de una restauración con la translucidez adecuada, el aspecto clínico de la restauración puede coincidir estrechamente con la estructura dental circundante (5).

Estudios previos han informado sobre métodos para evaluar translucidez y opacidad de los materiales restauradores estéticos. Dentro de la translucidez, existen distintos parámetros para evaluar dicha propiedad, como son la

transmitancia directa de la luz (TD), el parámetro de translucidez (PT) y la relación de contraste (RC). Sin embargo, actualmente no existe un estándar o consenso sobre método de elección para cuantificar la translucidez de los materiales de restauración estéticos (5).

El método para especificar la translucidez de los materiales dentales estéticos se podría basar en los requerimientos del aspecto clínico del paciente, en las demandas técnicas de optimización del material subyacente o en ambos. Por tanto, esos métodos empleados para describir la translucidez podrían proporcionar información relevante con el fin de que el clínico seleccione los materiales óptimos para satisfacer esos requerimientos.

En este sentido, Johnston (2014) realizó una revisión acerca de la determinación de la translucidez y las aplicaciones que tiene en los materiales dentales. Hay varias formas de medir la translucidez de los materiales, por lo que se han utilizado varios conceptos básicos colorimétricos para describir dicha propiedad de esos materiales. Los tres métodos más empleados para medir la translucidez fueron la relación de contraste (RC), la transmitancia directa (TD) y el parámetro de translucidez (PT). En cuanto a la relación de contraste y los métodos de transmitancia, tienen la posibilidad de ser tanto luminosos como espectrales, no siendo así con el parámetro de translucidez (6).

1.2.2 Opalescencia

Por otro lado, la opalescencia se produce por la dispersión de longitudes de onda más cortas de la luz visible en partículas del tamaño de la luz visible longitud de onda o más pequeña, dando a un objeto una apariencia azulada en el color reflejado y una apariencia naranja / marrón en el color transmitido. Para producir restauraciones altamente estéticas que realmente imiten la apariencia natural del diente, se deben emplear materiales con propiedades opalescentes (5).

1.3 Confección CAD/CAM de las coronas provisionales

Las restauraciones provisionales pueden confeccionarse mediante técnicas directas e indirectas parecen ser los más comunes. A pesar de que hay estudios en los que se han empleado ambas técnicas de fabricación, no parece haber ninguna indicación en la literatura sobre cuál de ellas ofrece mayor precisión, ya que cada una presenta ventajas y desventajas (1).

En los últimos 25 años, el diseño asistido por computadora (CAD) y fabricación asistida por computadora (CAM) se han convertido en una tecnología cada vez más útil en odontología. Con la evolución de esta metodología y el aumento de los requerimientos estéticos por parte de los pacientes y profesionales, se ha generado una gran variedad de materiales estéticos (3,5).

El surgimiento del diseño asistido por computadora / fabricación asistida por computadora (CAD / CAM) en odontología ha permitido el uso exitoso de diferentes materiales. Usando estos sistemas para fabricar restauraciones fijas en comparación con las técnicas convencionales. Además, esta tecnología permite la conformación de materiales con alta precisión que no pueden llevarse a cabo fácilmente a través de un método tradicional, tanto para la prótesis definitiva como en el caso de las restauraciones provisionales (3).

Dentro de estos sistemas, el más empleado en los últimos años ha sido la técnica por sustracción o de fresado. Sin embargo, los avances en la fabricación adhesiva (AM) o la llamada técnica de impresión-3D, sistemas emergentes en el campo de la odontología, resultan prometedores en la fabricación de restauraciones dentales y comienzan a implementarse en la práctica clínica dental.

En la última década, el desarrollo de la impresión 3D ha sido significativo, ya que se ha producido un avance de las técnicas, ha disminuido el coste de

las piezas y se ha incrementado la velocidad (7).

El término impresión 3D se utiliza generalmente para describir un enfoque de fabricación que construye objetos una capa a la vez, agregando múltiples capas para formar un objeto. Este proceso se describe como fabricación adhesiva (8,9).

Dentro de estos sistemas, existen muchas tecnologías de impresión diferentes, cada una con sus propias ventajas y desventajas. Desafortunadamente, una característica común de los equipos más funcionales y productivos es el alto coste del equipo, los materiales, el mantenimiento y la reparación, a menudo acompañados de una necesidad de limpieza específica, post-procesado complicado y, a veces, problemas de salud y seguridad.

En la confección de provisionales, existen tres técnicas, las cuales emplean como material una resina fotopolimerizable, descritas a continuación:

Estereolitografía (SLA)

- Ventajas:
 - Rápida fabricación.
 - Permite crear formas complejas con una alta resolución.
 - Bajo coste de materiales necesarios para la fabricación.

- Desventajas
 - El soporte de materiales debe ser retirado.
 - La resina está sucia y puede causar sensibilización cutánea, y puede ser irritante al contacto o inhalación.
 - Tiene una vida útil limitada. No puede esterilizarse con calor.
 - Alto coste tecnológico.
 - Solo permite el curado de los polímeros líquidos mediante fotopolimerización.

Photojet

- Ventajas
 - Relativamente rápido.
 - Alta resolución, alta calidad de acabado.
 - Permite múltiples materiales, de diferentes colores y propiedades físicas, incluyendo materiales elásticos.
 - Bajo coste tecnológico.
- Desventajas
 - Material de soporte duro que puede ser difícil de retirar completamente.
 - El material de soporte puede producir irritación cutánea.
 - No puede ser esterilizado con calor.
 - Alto coste de los materiales.

DLP (procesado de luz digital): la resina líquida se cura capa por capa mediante la fuente de luz del proyector. El objeto está construido al revés en una plataforma de elevación gradual.

- Ventajas
 - Buena precisión, superficies suaves, relativamente rápido.
 - Bajo coste tecnológico.
- Desventajas
 - Polímeros líquidos fotopolimerizables y materiales como la cera, para la fundición.
 - El material de soporte debe ser retirado.
 - La resina está sucia y puede causar sensibilización cutánea.
 - Vida útil limitada.
 - No puede ser esterilizado con calor.
 - Alto coste de los materiales.

Por último, debemos de tener en cuenta que el proceso de impresión 3D se basa en distintos pasos, descritos a continuación (10):

1. Adquisición de un modelo 3D
2. Creación del diseño en el software, se almacena en archivo STL.
3. Preparación del modelo para imprimirlo
4. Impresión: se imprime superponiendo el material capa a capa.
5. Post-procesado: retirar del soporte, lavado, infiltración o tratamiento con calor (en objetos metálicos)

El adecuado desarrollo de todos los pasos es de vital importancia para la restauración final. En este sentido, esta tecnología permite la conformación de materiales con alta precisión que no pueden llevarse a cabo fácilmente a través de un método tradicional para realizar una restauración dental, incluyendo actualmente la fabricación de restauraciones provisionales. Esto nos hace pensar que será uno de los métodos a desarrollar para su confección en el futuro (3).

1.3 Espectrofotometría

Se denomina espectrofotometría a la medición de la cantidad de energía radiante que absorbe un sistema químico en función de la longitud de onda de la radiación, y a las mediciones a una determinada longitud de onda.

El espectrofotómetro se define como un instrumento que permite comparar la radiación absorbida o transmitida por una solución o espécimen que contiene una cantidad desconocida de soluto, y una que contiene una cantidad conocida de la misma sustancia. Todas las sustancias sólidas o líquidas pueden absorber energía radiante, aún el vidrio o el agua que aparentan ser completamente transparentes absorben longitud de ondas que

pertenecen al espectro visible.

La absorción de las radiaciones ultravioleta, visibles e infrarrojas depende de la estructura de las moléculas, y es característica para cada sustancia química o espécimen. Cuando la luz atraviesa una sustancia o un objeto, parte de la energía es absorbida; la energía radiante no puede producir ningún efecto sin ser absorbida.

El color de las sustancias y de los objetos se debe a que éstas absorben ciertas longitudes de onda de la luz blanca que incide sobre ellas y solo dejan pasar a nuestros ojos aquellas longitudes de onda no absorbida.

Dentro de la espectrofotometría, distinguimos dos tipos de aparatos: por un lado los colorímetros y por el otro los espectrofotómetros. A diferencia de los colorímetros, que utilizan filtros que sólo dejan pasar a una determinada longitud de onda, los espectrofotómetros emplean cromadores con los que se obtiene un haz de luz monocromático, que permite variar la longitud de onda.

Los espectrofotómetros miden la porción reflejada de un tono en un intervalo de 20 nm en el rango de longitud de onda de 380-720 nm. La luz reflejada hacia atrás se descompone en sus tonos espectrales mediante una rejilla de difracción y se compara con la luz emitida. Después de registrar y convertir la información en datos mensurables, estos valores se traducen en códigos de sombreado de la tecla de sombreado respectiva.

Según los estudios, la calidad de medición de los espectrofotómetros es significativamente más precisa que la de los colorímetros (11). Además, en un estudio realizado por Kim-Putasari y colaboradores (2009) se observó que estos dispositivos son superiores en lo que respecta a la durabilidad (12).

Para este estudio, hemos empleado por un lado el espectrofotómetro UV-visible y por otro un espectrofotómetro dental, por lo que a continuación se explicará en que consiste cada uno de ellos.

ESPECTROFOTÓMETRO UV-vis

La espectrometría ultravioleta-visible o espectrofotometría UV-Vis implica la espectroscopia de fotones en la región de radiación ultravioleta-visible. Este método se utiliza habitualmente en la determinación cuantitativa de soluciones de iones metálicos de transición y compuestos orgánicos muy conjugados, sin embargo, en el campo de la odontología se ha visto su utilidad a la hora de evaluar propiedades ópticas como la translucidez, mediante el análisis de la transmitancia directa (TD).

Este tipo de espectrofotómetro consta de varios elementos principales:

- Fuente de luz, con una lámpara de Wolframio generalmente.
- Rendija de entrada, que permite reducir al máximo la luz difusa y evita que la luz dispersa entre en el sistema de selección de la longitud de onda.
- Monocromador, cuya función va a ser seleccionar un haz de luz con una longitud de onda determinada (haz monocromático). Esto se va a conseguir gracias al uso de rejillas de refracción y filtros para descomponer la luz de la lámpara.
- Rendija de salida, que impide que la luz difusa atraviese la celda.
- Celda portamuestra, para la cual se utilizan materiales transparentes como plásticos y cuarzos
- Detector (generalmente una celda fotoeléctrica), que permite la medición de la intensidad del haz transmitido.

ESPECTROFOTÓMETRO DENTAL

Los espectrofotómetros dentales se encuentran entre los instrumentos más precisos, útiles y flexibles para la coincidencia de color y la coincidencia de colores en odontología. Su mecanismo se basa en medir la cantidad de energía luminosa reflejada por un objeto a intervalos de 1 a 25 nm a lo largo del espectro visible (11).

Este aparato contiene una fuente de radiación óptica, un medio para

dispersar la luz, un sistema óptico para medir, un detector y un medio para convertir la luz obtenida en una señal que pueda analizarse (11).

Además, los datos obtenidos de los espectrofotómetros deben ser manipulados y traducidos a una forma útil para los profesionales, a la vez que las mediciones obtenidas por los instrumentos con frecuencia se adaptan a guías de colores dentales y se convierten en lengüetas sombreadas equivalentes (11).

Al haberse realizado estudios comparativos de los espectrofotómetros dentales con observaciones del ojo humano o técnicas convencionales, se encontró que los espectrofotómetros ofrecen un aumento del 33% en la precisión y una coincidencia más objetiva en 93.3% de los casos (13).

A nivel clínico, la correcta determinación del color del diente es un paso de tratamiento esencial en la reconstrucción estética odontológica, ya que el color es probablemente uno de los determinantes más importantes. Factores tales como las condiciones de iluminación, el sexo, la edad, la experiencia y el deterioro de la visión del color afectan el proceso de igualación de tonos. Estos déficits provocaron el deseo de un objetivo y método de determinación del color reproducible con dispositivos digitales para la determinación del color (11).

Gracias a estos aparatos, podemos analizar las distintas propiedades ópticas, ya que entre las aplicaciones odontológicas, no solo encontramos la toma de color de los dientes, sino también de los tejidos blandos (16). Por ello, se trata de un instrumento de gran utilidad, sobre todo a la hora de realizar restauraciones en el sector anterior, tanto de manera provisional como definitivas.

Uno de los dispositivos digitales de determinación del color más probados y más utilizados son los denominados "VITA Easyshade".(VITA Zahnfabrik, Bad Säckingen, Alemania) (11, 15, 16).

2. HIPÓTESIS

Hipótesis nula: no existen diferencias estadísticamente significativas en cuanto a las propiedades ópticas (transmitancia directa, parámetro de translucidez, relación de contraste, parámetro de opalescencia) de un fotopolímero empleado para la confección de provisionales CAD/CAM mediante técnica de impresión 3D (Sheraprint-cb A3,5, Shera) comparadas con las propiedades ópticas del PMMA (Poli Metil Metacrilato), utilizado en el fresado.

3. JUSTIFICACIÓN

Debido al incremento de la demanda de restauraciones provisionales con colores similares a los del diente, las propiedades ópticas de los materiales empleados tienen una gran importancia.

Hasta la fecha no se han encontrado estudios previos que comparen dichas propiedades ópticas de los materiales provisionales confeccionados empleando tecnología CAD/CAM, mediante técnica de impresión 3D o fresado.

4. OBJETIVOS

1. Evaluar si hay diferencias estadísticamente significativas en cuanto a la **translucidez** entre el fotopolímero empleado para la confección de provisionales CAD/CAM mediante técnica de impresión 3D comparado con Polimetilmetacrilato (PMMA) mediante técnica de fresado.
2. Evaluar si hay diferencias estadísticamente significativas en cuanto a la **opalescencia** entre el fotopolímero empleado para la confección de provisionales CAD/CAM mediante técnica de impresión 3D comparado con Polimetilmetacrilato (PMMA) mediante técnica de fresado.

5. MATERIAL Y MÉTODOS

5.1 Secuencias por fases de protocolo

Se trata de un estudio in vitro, en el cual, con el fin de analizar las propiedades ópticas planteadas en los objetivos, se realizarán dos metodologías distintas: por un lado emplearemos un espectrofotómetro UV-visible y por otro un espectrofotómetro dental.

A. ESPECTROFOTOMETRÍA UV- visible

MATERIAL

Con el fin de analizar la transmitancia directa (T%), se confeccionaron las probetas siguiendo las dimensiones específicas recomendadas por el Centro de Investigaciones Biológicas (Centro Superior de Investigaciones), en este caso de 45x10x1mm. El diseño fue realizado mediante un programa de diseño (Solid Works 2017) y el grosor fue verificado a posteriori mediante un calibre digital. Para su confección fueron empleados dos tipos de materiales:

1. Material para provisionales impresoras 3D (n=5) **Sheraprint-cb A3,5**



Fig. 2 Impresora 3D (Shera®)



Fig. 3 Fotopolímero para impresión 3D (Sheraprint-cb)

En este caso, la impresión de las probetas se llevó a cabo gracias a la impresora 3D Shera® (Fig. 2), que emplea un sistema DLP (procesado de luz digital). En esta técnica, la resina líquida (Fig. 3) se cura capa por capa mediante la fuente de luz del proyector, por lo que el objeto está construido al revés en una plataforma de elevación gradual. Entre las ventajas que encontramos, cabe destacar una buena precisión, la obtención de superficies suaves y el hecho de que se trata de un sistema relativamente rápido con un bajo coste tecnológico.

Sin embargo, se necesitan polímeros líquidos fotopolimerizables y materiales como la cera, para la fundición. Además, el material de soporte debe ser retirado y la resina está sucia y puede causar sensibilización cutánea. Los materiales empleados presentan una vida útil limitada y no pueden ser esterilizados con calor, presentando un alto coste.

Tras la impresión de las probetas se llevó a cabo el postprocesado, que consistió en:

- Introducir en un recipiente con 2-propanol (alcohol isopropílico) las muestras, para posteriormente meter en el ultrasonidos durante 3 minutos y finalmente secarlas
- Se repite el primer paso y se secan

- Fotopolimerizado de 2 ciclos a 6500 revoluciones cada uno con la fotopolimerizadora Shera flash-light plus (Fig. 4)



Fig. 4 Fotopolimerizadora Shera flash-light plus

2. Material para provisionales fresado CAD/CAM (n=5) **Telio CAD A3,5** (Ivoclar Vivadent®). Para la obtención de las probetas con este material, se fresó un disco de PMMA en el Taller Mecánico de la Facultad de Ciencias Físicas, en base al diseño contenido en el archivo STL.



Fig. 5 Probetas impresora 3D



Fig. 6 Probetas PMMA fresado

Tamaño muestral (n=10)

- Grupo A: provisionales impresoras 3D (n=5)
- Grupo B: provisionales obtenidos mediante fresado CAD/CAM (n=5)

MÉTODO

Calibración de los parámetros del espectrofotómetro:

- Hendidura 0,5nm
- Velocidad de escaneado 240 nm/min
- Liso 10nm

Para la medición de la transmitancia directa, se realizarán mediciones con una longitud de onda con un rango de 400 a 780 nm con intervalo de datos de 5nm. Los valores medios de T% se recogerán en una tabla para longitud de onda de 400, 510 y 780nm.

El espectrofotómetro de luz ultravioleta visible empleado fue Cary 4000, Varian'sCary® (Fig. 7, 8, 9), cuyo rango de trabajo oscila entre 175 y 900 nm. Previo a su uso, se realizó la calibración por un lado con el fondo blanco, es decir sin muestra y por el otro con un fondo negro. De esta manera se realizaron los controles de que la luz pasa (blanco 100%) o no pasa (negro 100%). Es por ello por lo que al hablar de transmitancia directa hacemos referencia al porcentaje de luz que una muestra deja pasar.



Fig. 7 Espectrofotómetro UV- visible Cary 4000

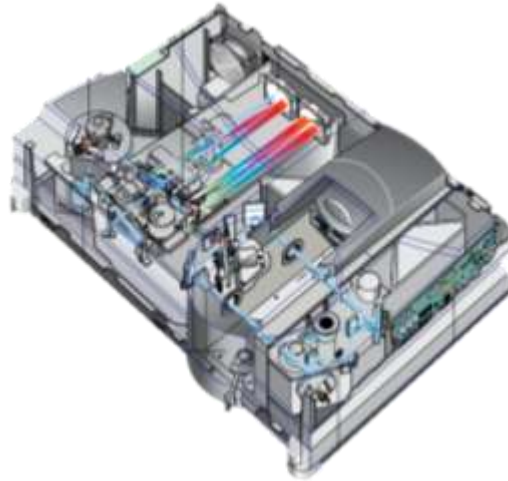


Fig. 8 Partes del espectrofotómetro Cary 4000.

Tomado de catálogo Agilent Cary 4000/5000/6000i Series Uv-Vis-Nir



Fig. 9 Soporte para colocación de muestras

2.ESPECTROFOTOMETRÍA DENTAL

MATERIAL

Con el fin de analizar el parámetro de translucidez (PT), relación de contraste (RC) y parámetro de opalescencia (PO), se confeccionaron las coronas anatómicas, siguiendo la secuencia mencionada a continuación.

En primer lugar, se realizó el tallado de un diente natural (un incisivo) y después el escaneado digital, para la posterior obtención de dos réplicas en PMMA (Telio CAD A3,5). Una de las réplicas se pintó de color negro (fondo negro), mientras que la otra mantuvo su color diente (fondo blanco).



Fig. 10 Modelo superior con tallado en 11



Fig. 11 Muñón negro (fondo negro) y muñón blanco (fondo blanco)

Basándonos en el mismo archivo STL empleado para la confección de las réplicas de muñón, se diseñaron los provisionales, con una superficie plana en la cara vestibular, para permitir el apoyo del espectrofotómetro en la misma posición. Los provisionales se obtuvieron mediante fresado del PMMA o mediante técnica de impresión 3D, (siguiendo los mismos pasos que en la confección de las probetas). El color fue el A3,5 (Vita Classic) para ambos grupos.



Fig. 12 Coronas anatómicas PMMA fresado



Fig. 13 Coronas anatómicas técnica de impresión 3D

Tamaño muestral (n=10)

- Grupo A: provisionales impresoras 3D (n=5)
- Grupo B: provisionales obtenidos mediante fresado CAD/CAM (n=5)

MÉTODO

Se empleó un espectrofotómetro dental (VITA Easyshade® 5.0, VitaZahnfabrik, Alemania) en modo dientes unitarios para registrar las coordenadas CIELAB (L^* , a^* y b^*) de las muestras.



Fig 13 Espectrofotómetro dental Vita Easyshade 5.0

Las mediciones se realizaron tres veces, tanto sobre el muñón negro (fondo negro) como sobre el muñón color diente (fondo blanco), calibrando el espectrofotómetro tanto al medir sobre el fondo blanco como sobre el fondo negro en cada una de las muestras y se halló la media.

PARÁMETRO DE TRANSLUCIDEZ

El parámetro de translucidez se determinó calculando la diferencia de color entre la lectura contra fondo negro y blanco para la misma muestra siguiendo la ecuación:

$$TP = \sqrt{(L_B^* - L_W^*)^2 + (a_B^* - a_W^*)^2 + (b_B^* - b_W^*)^2}$$

Donde B o W se refieren a las coordenadas sobre fondo negro o blanco,

respectivamente. A mayor valor del parámetro de translucidez, mayor la translucidez de la muestra.

RELACIÓN DE CONTRASTE

Los valores L^* también se usaron para calcular la reflectancia espectral Y , de la siguiente manera:

$$Y = \left(\frac{L^* + 16}{116} \right)^3 \times Y_n$$

Para colores de objetos simulados, el estímulo blanco especificado normalmente elegido es uno que tiene la apariencia de un perfecto reflector difusor, normalizado por un factor común para que Y_n es igual a 100. Los valores Y de las muestras registradas en fondo negro (Y_b) y blanco (Y_w) se utilizaron para calcular la tasa de contraste (CR) de la siguiente manera:

$$CR = \frac{Y_b}{Y_w}$$

El rango de valores de la tasa de contraste oscila entre 0.0 (material transparente) a 1.0 (material totalmente opaco).

PARÁMETRO DE OPALESCENCIA

Los valores recogidos de las coordenadas a^* y b^* (VITA EasyShade 5.0, Vita Zahnfabrik, Alemania) de las muestras colocadas sobre muñón negro y blanco también se emplearon para estimar el parámetro de opalescencia (PO) siguiendo la ecuación:

$$OP = \sqrt{(a_B^* - a_W^*)^2 + (b_B^* - b_W^*)^2}$$

Se realizó el análisis estadístico, con el fin de comparar las propiedades

ópticas (transmitancia directa, parámetro de translucidez, relación de contraste, parámetro de opalescencia) entre los provisionales obtenidos mediante técnica de impresión 3D y los obtenidos mediante fresado CAD/CAM.

5.2 Análisis de datos

Variable independiente: material empleado

Tamaño muestral (n=10)

- Grupo A: provisionales impresoras 3D (n=5)
- Grupo B: provisionales obtenidos mediante fresado CAD/CAM (n=5)

Variables dependientes: propiedades ópticas (transmitancia directa, parámetro de translucidez, relación de contraste, parámetro de opalescencia)

Para el análisis estadístico se ha empleado la aplicación informática: IBM SPSS-22 (*IBM Corp. Released 2013. IBM SPSS Statistics v 22.0 for Windows; Armonk. NY. USA*).

Las técnicas y tests estadísticos empleados han sido:

- En variables cuantitativas: exploración de datos con gráfico Q-Q de ajuste a la normalidad, histograma, coeficientes de asimetría y curtosis/altura junto al Test de bondad de ajuste de Sahapiro-Wilks y descripción con las herramientas habituales de centralidad (media, mediana) y variabilidad (desviación estándar, rango, etc...)
- Test U de Mann Whitney para el contraste entre grupos
- Estimación del tamaño del efecto con R^2 .

El nivel de significación fijado es el habitual 5% (significativo si $p < .05$) excepto en el test SW de bondad de ajuste donde se consideran significativos solo los desvíos graves, es decir al 1% ($p < .01$).

6. RESULTADOS

1.- Estudio de la transmitancia directa.(%)

Tras realizar las mediciones, se obtuvieron los siguientes resultados:

	400 nm	510 nm	780 nm
MUESTRA 1	0,37	0,99	0,85
MUESTRA 2	0,50	1,15	0,89
MUESTRA 3	0,36	0,86	0,74
MUESTRA 4	0,52	0,97	0,82
MUESTRA 5	0,38	1,03	0,85

Tabla 1 Transmitancia directa (T%) del Grupo A (impresora 3D) a 400nm, 510nm y 780 nm

	400 nm	510 nm	780 nm
MUESTRA 1	0,46	1,91	11,84
MUESTRA 2	0,41	1,57	9,02
MUESTRA 3	0,40	1,60	9,95
MUESTRA 4	0,42	1,66	10,52
MUESTRA 5	0,36	1,52	10,80

Tabla 2. Transmitancia directa (T%) del grupo B (PMMA fresado) a 400nm, 510nm y 780 nm

En primer lugar, se ha procedido a realizar una exploración de los 3 parámetros de transmitancia directa medidos: a 400 nm, a 510 nm y a 780 nm, dada su naturaleza cuantitativa continua. El objetivo de esta exploración fue

principalmente determinar el grado de ajuste/tendencia a la campana normal de Gauss de estas variables. Para ello, se ha empleado desde el punto de vista descriptivo los índices clásicos de forma (coeficientes de asimetría y curtosis) y el gráfico Q-Q de ajuste a la normalidad; y desde el punto de vista inferencial el Test de bondad de ajuste de Shapiro-Wilks (específico para muestras pequeñas: $n < 50$) en el que se considera ausencia de normalidad solo los desvíos graves (significativos con $p < .01$). A la par se han realizado los diagramas de caja de cada variable con el fin de determinar la posible existencia de valores fuera de rango lógico (*outliersfarout*) que pudiesen ejercer algún efecto distorsionador sobre los valores medios de estas variables.

En los diagramas de caja (*Figs. 15, 17 y 19*) no aparecen ningún valor fuera de rango que sea necesario atender. Y a la par se observa cómo va aumentando la variabilidad de los valores obtenidos a medida que aumentan la longitud de onda (nm) en las mediciones de la TD. Por su parte, en los Diagramas Q-Q se aprecia que la medición de la TD a 40nm los puntos (*Fig. 14*), cercanos a la diagonal, nos permiten admitir la tendencia hacia la normalidad estadística de esta variable. Ya en la medición de la TD a 510nm se aprecia un cierto desajuste (*Fig. 16*) que aún es más pronunciado en la medición de la TD a los 780nm; lo que nos deja serias dudas sobre la tendencia de estas dos variables hacia la campana normal de Gauss. En esta línea si bien es cierto que los índices de asimetría de las tres medidas pueden ser considerados como normales, o tendentes hacia la normalidad, los de curtosis (altura) de las medidas a 510nm y a 780nm se alejan claramente de la misma (curvas platicúrticas). Por su parte, en el Test de bondad de ajuste SW se detecta desvío significativo ($p < .01$) en la medida a 780nm

Figura 14: *Diagrama Q-Q normal.* Transmitancia directa a 400nm

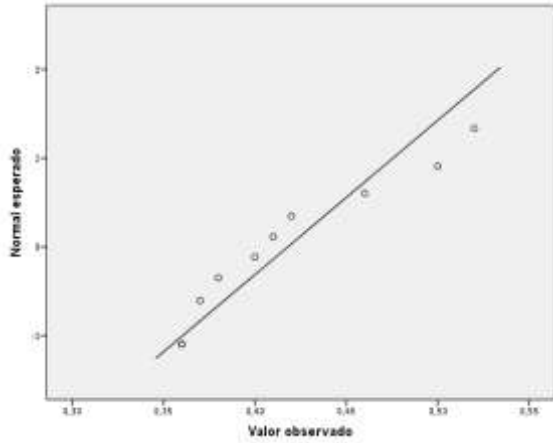
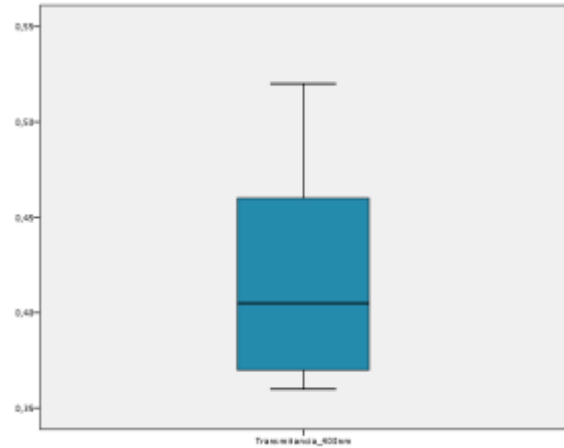


Figura 15: *Diagrama de caja.* Transmitancia directa a 400nm



Elaboración propia mediante IBM SPSS Statistics 22

Figura 16: *Diagrama Q-Q normal.* Transmitancia directa a 510nm

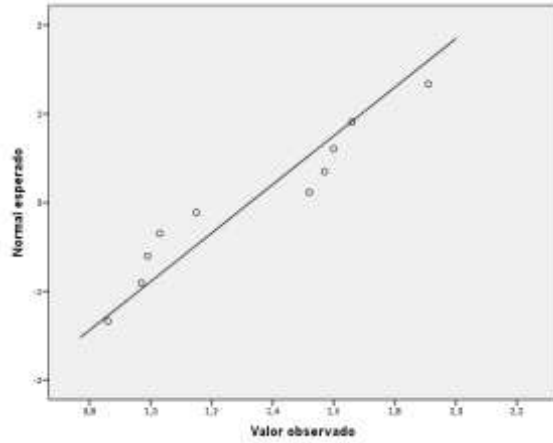
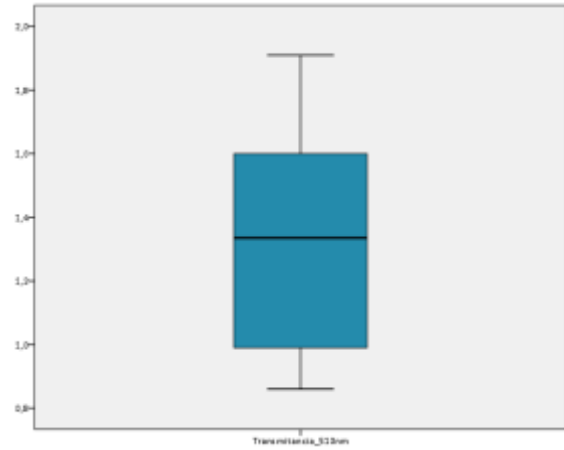


Figura 17: *Diagrama de caja.* Transmitancia directa a 510nm



Elaboración propia mediante IBM SPSS Statistics 22

Figura 18: *Diagrama Q-Q normal.* Transmitancia directa a 780nm

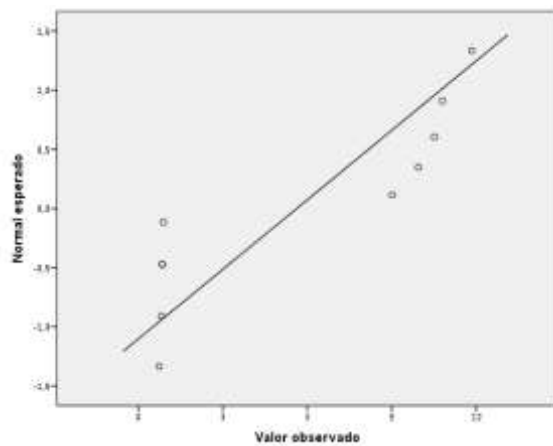
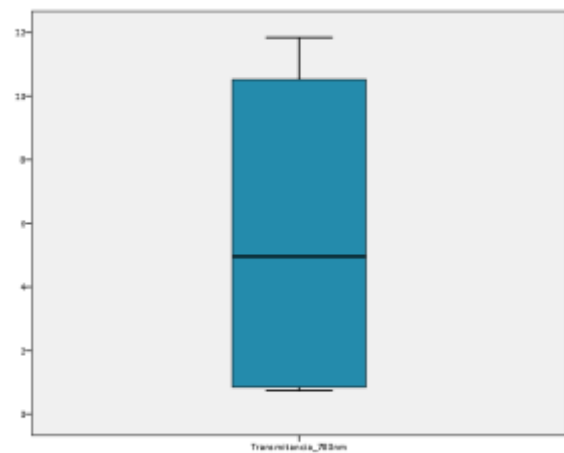


Figura 19: *Diagrama de caja.* Transmitancia directa a 780nm



Elaboración propia mediante IBM SPSS Statistics 22

La *tabla 3* contiene los valores de los anteriores índices de forma de la variables, así como el resto de estadísticos descriptivos de centralidad (media, mediana) y de variabilidad (desviación estándar, etc...). En ellos, se aprecia un claro incremento en los valores promedio, sobre todo en la medición TD a 780nm, así como el incremento en la variabilidad (que se demuestra con los valores del coeficiente de variación) ya visto y comentado desde los diagrama de caja.

Tabla 3: *Análisis exploratorio y descriptivo.* Variables de Transmitancia directa. (N=10)

Variables	Exploración: Forma			Centralidad			Variabilidad		
	Asimetría	Curtosis	Test SW: p valor	Media	Mediana	Rango (Mín. / Máx.)	Desviación estándar	Coef. de variación	Rango intercuartil
TD a 400 nm	0.821	-0.613	.239 ^{NS}	0.42	0.41	0.36 / 0.52	0.06	14.29	0.10
TD a 510 nm	0.180	-1.591	.156 ^{NS}	1.33	1.34	0.86 / 1.91	0.37	27.82	0.63
TD a 780 nm	0.065	-2.440	.003 ^{**}	5.63	4.95	0.74 / 11.84	5.11	90.76	9.75

NS = Desvío no significativo ($p > .05$) la variable se distribuye normalmente

** = Desvío grave significativo ($p < .01$) la variable no se ajusta a la normalidad

Tras esta exploración se procede a comparar los valores obtenidos en función del grupo (Impresora 3D / PMMA fresado). Para ello, el test más adecuado y potente es el conocido T de Student. Sin embargo, tanto las dudas sobre la normalidad estadística de estas variables y en especial de la última medición, como lo reducido del tamaño de muestra (y sobre todo, éste motivo), recomiendan emplear la alternativa no paramétrica equivalente al método anterior citado, que es el Test U de Mann-Whitney. Se acompaña estos tests con el cálculo del tamaño del efecto.

Los resultados recogidos en la *Tabla 4* nos permiten concluir que:

- Los valores promedio (media y mediana) de ambos grupos son muy similares en la medición TD a 400nm. En consonancia con esto, la diferencia observada no alcanza significación ($p > .05$).

- En la medición a 510nm ya se aprecia una cierta diferencia siendo más altos los promedios de los valores obtenidos en el grupo PMMA fresado. Esta diferencia ya es estadísticamente significativa ($p < .01$) y se corresponde con un tamaño del efecto muy elevado (88.5%).
- Y finalmente en la medición a 780nm, la diferencia es mucho más elevada aún, manteniendo una significación similar a la anterior ($p < .01$) pero con tamaño del efecto más alto (98.1%).

Tabla 4: *Análisis inferencial comparativo.* Variables de Transmitancia directa en función del Grupo.

Variables	Impresora 3D (n=5)		PMMA fresado (n=5)		Mann-Whitney		Tamaño del efecto: R^2
	Media (D.E.)	Mediana	Media (D.E.)	Mediana	Valor	p-valor	
TD a 400 nm	0.4260 (0.08)	0.3800	0.4100 (0.04)	0.4100	0.00 ^{NS}	.999	.022
TD a 510 nm	1.0000 (0.10)	0.9900	1.6520 (0.16)	1.6000	2.61**	.008	.885
TD a 780 nm	0.8300 (0.06)	0.8500	10.4260 (1.04)	10.5200	2.62**	.008	.981

N.S. = NO significativo ($p > .05$) ** = Altamente significativo al 1% ($p < .01$)

Por tanto, tenemos evidencias estadísticas muy sólidas para afirmar la existencia de diferencias entre grupos a partir de la medida de TD a 510nm, y que son más altas en la medición a 780nm. En ambos casos, los valores de TD son más elevados en el grupo PMMA fresado.

2.- Estudio del parámetro de translucidez, relación de contraste y opalescencia.

Tras realizar las mediciones, se recogieron los datos en las tablas que adjunto en *Anexo I y II*. Tras aplicar las fórmulas mencionadas anteriormente, se obtuvieron los valores recogidos en las *tablas 5 y 6*:

PARÁMETRO DE TRANSLUCIDEZ

$$TP = \sqrt{(L_B^* - L_W^*)^2 + (a_B^* - a_W^*)^2 + (b_B^* - b_W^*)^2}$$

RELACIÓN DE CONTRASTE

$$Y = \left(\frac{L^* + 16}{116} \right)^3 \times Y_n \quad CR = \frac{Y_b}{Y_w}$$

PARÁMETRO DE OPALESCENCIA

$$OP = \sqrt{(a_B^* - a_W^*)^2 + (b_B^* - b_W^*)^2}$$

	Parámetro de translucidez	Tasa de contraste	Parámetro de opalescencia
Muestra 1	6,98	0,86	5,06
Muestra 2	7,31	0,87	5,84
Muestra 3	5,64	0,89	4,07
Muestra 4	8,84	0,83	5,77
Muestra 5	7,53	0,87	5,88

Tabla 5: Parámetro de translucidez, relación de contraste y parámetro de opalescencia en grupo A (impresora 3D)

	Parámetro de translucidez	Tasa de contraste	Parámetro de opalescencia
Muestra 1	6,86	0,87	5,50
Muestra 2	6,91	0,87	5,64
Muestra 3	7,10	0,87	5,74
Muestra 4	6,59	0,88	5,46
Muestra 5	5,06	0,91	4,34

Tabla 6: Parámetro de translucidez, relación de contraste y parámetro de opalescencia en grupo B (PMMA fresado)

La metodología estadística empleada es exactamente la misma que en el apartado anterior.

En este caso, comentamos los diagramas y resultados para cada variable por separado:

Parámetro de translucidez.

El diagrama de caja (*Fig. 21*) presenta dos valores algo fuera de rango (*nearout*). Uno por ser anómalamente alto (muestra 4 de Impresora 3D) y otro por ser anómalamente bajo (muestra 10, nº 5 de PMMA). Sus valores tienden a compensar los promedios, por lo que se precisa intervención sobre ellos. El diagrama Q-Q normal (*Fig. 22*) nos indica una alta tendencia de los valores hacia la normalidad estadística, cuestión que confirma tanto los índices de forma como el test SW de bondad de ajuste ($p > .50$). Los valores de media y mediana son parecidos, y los valores de los índices de variabilidad nos permite concluir que la distribución es bastante homogénea internamente.

Relación de contraste.

El diagrama de caja (*Fig. 23*) nos presenta a la misma muestra antes citadas fuera de rango, si bien invertidas en su situación; y además en este caso la de la muestra 4 ya sería un valor muy alejado (*farout*). De nuevo tienden a compensarse en los promedios por lo que se opta por no actuar sobre ellos. El diagrama Q-Q (*Fig. 21*) también nos indica una clara tendencia hacia la normalidad estadística, que se confirma por los valores de los índices de forma y el test de bondad de ajuste SW ($p > .05$). Media y mediana tienen el mismo valor, y los índices de variabilidad nos indican que esta variable es muy homogénea, es decir que todo el grupo tiene valores muy próximos entre sí, excepto los dos fuera de rango comentados.

Parámetro de opalescencia.

En esta variable el diagrama de caja (Fig. 25) no encuentra ningún valor fuera de rango. Por su parte el diagrama Q-Q (Fig. 24) presenta algún punto desviado que se confirma en el test SW ($p < .05$ pero $> .01$) que no es lo suficientemente grave como para afirmar que la variable ya no se distribuye normalmente. Los valores de media y mediana, de nuevo, son parecidos entre sí. Y en cuanto a la variabilidad, se aprecia que es muy elevada, como indica un coeficiente de variación tan alto (> 100).

Figura 20: Diagrama Q-Q normal. Translucidez

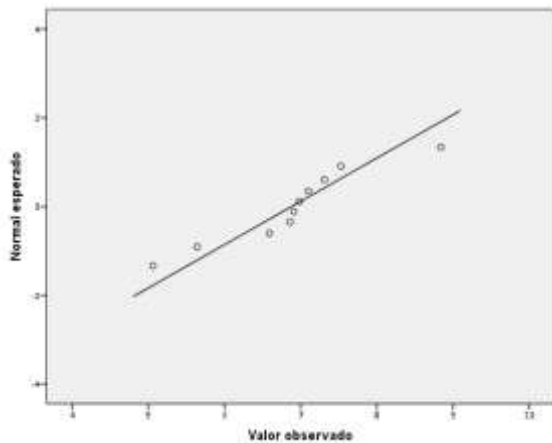
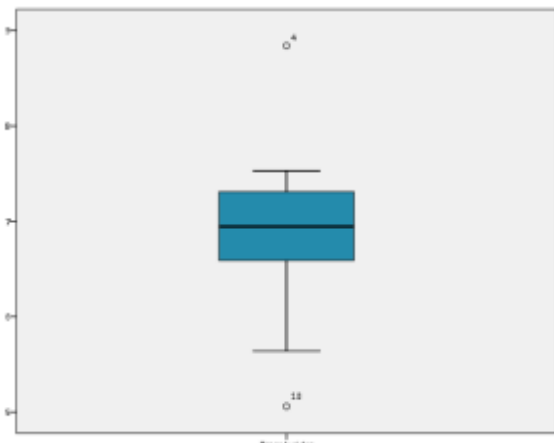


Figura 21: Diagrama de caja. Translucidez



Elaboración propia mediante IBM SPSS Statistics 22

Figura 22: Diagrama Q-Q normal. Tasa de Contraste

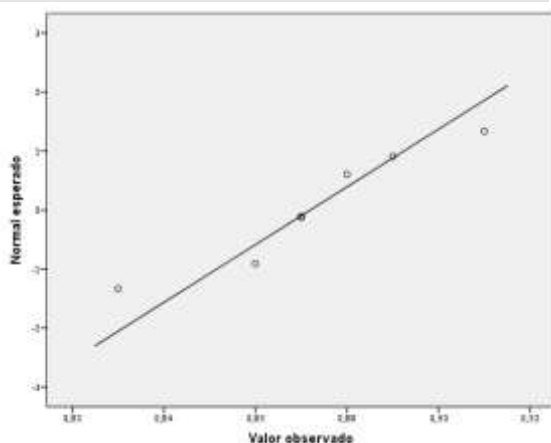
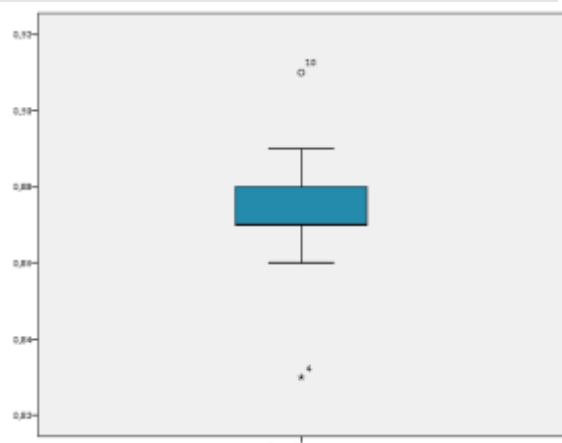


Figura 23: Diagrama de caja. Tasa de Contraste



Elaboración propia mediante IBM SPSS Statistics 22

Figura 24: Diagrama Q-Q normal. Opalescencia

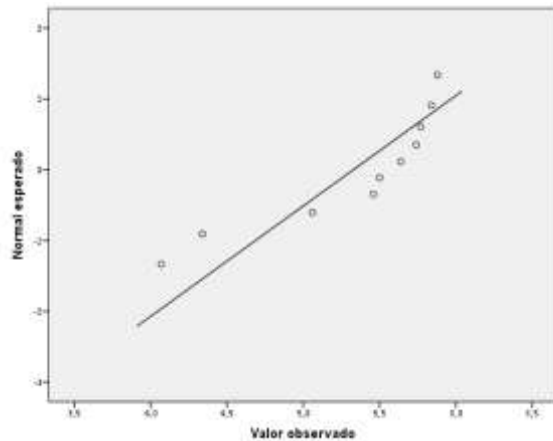
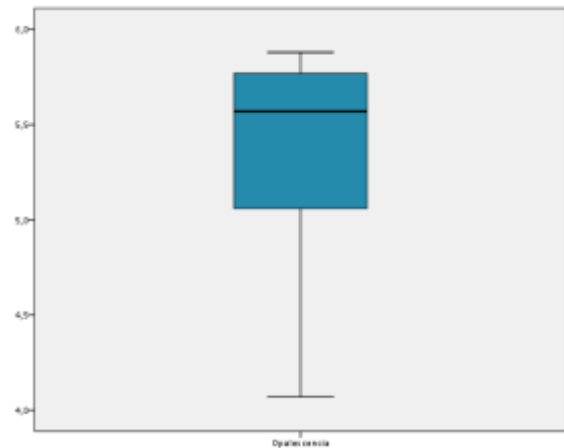


Figura 25: Diagrama de caja. Opalescencia



Elaboración propia mediante IBM SPSS Statistics 22

Como resumen tras realizar la exploración, las variables tiende suficientemente hacia la normalidad estadística que nos permitiría emplear para el contraste entre grupos el test T de Student paramétrico. Pero de nuevo lo reducido del número de muestra recomienda emplear la alternativa no-paramétrica equivalente.

Tabla 7: Análisis exploratorio y descriptivo. Otros parámetros. (N=10)

Variables	Exploración: Forma			Centralidad			Variabilidad		
	Asimetría	Curtosis	Test SW: p valor	Media	Mediana	Rango (Mín. / Máx.)	Desviación estándar	Coef. de variación	Rango intercuartil
Translucidez	-0.016	1.275	.537 ^{NS}	6.88	6.95	5.06 / 8.84	1.02	14.83	1.01
Tasa de Contraste	-0.238	2.322	.178 ^{NS}	0.87	0.87	0.83 / 0.91	0.02	2.30	0.02
Opalescencia	-1.314	0.449	.015 *	5.33	5.57	4.07 / 5.88	0.64	104.50	0.91

NS = Desvío no significativo ($p > .05$) la variable se distribuye normalmente

* = Desvío levemente significativo ($p < .05$) la variable tiende hacia la normalidad

Se realizó el análisis estadístico, cuyos resultados de los test MW de contraste se resumen en la *tabla 8*. Como se puede apreciar, ninguna de las diferencias entre los grupos alcanza significación estadística ($p > .05$). Sin embargo, en la translucidez y en la Tasa de contraste, sus respectivos tamaños del efecto (15.1% y 17%) nos llevan a pensar que la falta de significación puede estar relacionada con lo reducido del número de muestras. Según estos efectos, hay sospechas de posibles significaciones que deberían ser

contrastadas en muestras más grandes en número. De ser ciertas, estarían indicando una posible tendencia a valores más altos en el parámetro de translucidez de las muestras obtenidas mediante Impresora 3D, a la vez que un posible tendencia a valores más bajos en la tasa de contraste.

Por su parte, en el parámetro de opalescencia, no hay duda de la igualdad entre grupos (efecto: 0%).

Tabla 8: Análisis inferencial comparativo. Variables de otros parámetros en función del Grupo.

Variables	Impresora 3D (n=5)		PMMA fresado (n=5)		Mann-Whitney		Tamaño del efecto: R^2
	Media (D.E.)	Mediana	Media (D.E.)	Mediana	Valor	p-valor	
Translucidez	7.2600 (1.15)	7.3100	6.5040 (0.83)	6.8600	1.57 ^{NS}	.151	.151
Tasa de Contraste	0.8640 (0.02)	0.8700	0.8800 (0.02)	0.8700	1.23 ^{NS}	.310	.170
Opalescencia	5.3240 (0.78)	5.7700	5.3360 (0.57)	5.5000	0.73 ^{NS}	.548	.000

N.S. = NO significativo ($p > .05$)

7. DISCUSIÓN

Las propiedades ópticas de los materiales restauradores dentales son críticas para unas restauraciones estéticas aceptables, por lo que estudios previos han informado sobre métodos para evaluar la translucidez y la opacidad de los materiales restauradores estéticos. Sin embargo, actualmente no existe un estándar o consenso sobre el método de elección para cuantificar la translucidez de los materiales de restauración estéticos (5).

Con el fin de evaluar las distintas propiedades ópticas, en este estudio *in vitro* se emplearon como métodos para determinar la translucidez: la transmitancia directa (TD), el parámetro de translucidez (PT) y la relación de contraste (RC); así como para analizar la opalescencia el parámetro de opalescencia (PO).

Translucidez

Debemos tener en cuenta que la translucidez, definida como la propiedad óptica de un material que ocurre cuando el rayo de luz, al atravesarlo, está parcialmente disperso, reflejado, y transmitido a través del objeto, es un parámetro clínico más o menos deseable en las restauraciones estéticas en base al color final de la restauración y el color de base del sustrato; es decir, cuanta mayor diferencia exista entre ambos, será deseable una menor translucidez para conseguir un resultado óptimo. En un estudio de 1980, realizado por Brodbelt y colaboradores, se evaluó la translucidez de las porcelanas dentales, llegando a la conclusión de que esa translucidez dependía del grosor de la muestra (17), a mayor grosor, menor translucidez.

Transmitancia Directa (TD)

Dentro de los distintos parámetros para analizar la translucidez de los materiales provisionales, cabe destacar la transmitancia directa (TD). Cuando la luz atraviesa un material translúcido, es reducida por la dispersión de partículas de pequeño tamaño, como partículas de relleno y porosidades. La

porción de luz incidente que emerge como una transmisión difusa es esencial para la percepción del color. La teoría de dispersión de Rayleigh, que se aplica a partículas pequeñas, describe que una mayor dispersión ocurre en longitudes de onda más bajas. Por lo tanto, hay una disminución de la transmitancia directa a longitudes de onda menores, por lo que se podría confirmar la dependencia de la cantidad de luz reemitida con la longitud de onda de la luz incidente (17, 18).

En este estudio, la distribución espectral de la transmitancia directa (T%) mostró que el valor de este parámetro fue mayor a medida que la longitud de onda incrementó de 400 a 780 nm. Este comportamiento demuestra la dependencia de la transmitancia con la longitud de onda, estando de acuerdo con estudios previos (5).

En el estudio de O'Keefe y colaboradores de 1991, se analizaron las variables que afectaban la transmitancia espectral de la luz a través de las carillas de porcelana a distintos grosores y con distinta opacidad. Se vio que el grosor de las carillas tuvo un efecto sustancial en la energía que atravesaba las carillas. Además, el porcentaje de transmisión de las muestras incrementó a medida que la opacidad disminuía. Hay dos formas de transmitancia, especular y difusa, y cada una depende del método de medición. La diferencia entre esas dos formas de transmitancia es que la medida de la transmitancia difusa incluye toda aquella luz que atraviesa el material más toda la luz que se dispersa hacia adelante, sin embargo, la transmitancia especular excluye la proporción de luz que no alcanza el detector (19).

Parámetro de translucidez

En cuanto al parámetro de translucidez (PT), se define como la diferencia de color de un material (de grosor uniforme) entre los colores reflejados contra fondo negro y blanco (20,21,22). Este parámetro fue desarrollado con el fin de relacionar la translucidez con la percepción visual humana. Dándole otro enfoque, Lin y colaboradores afirman que la translucidez de los materiales dentales restauradores se podría evaluar mediante tres métodos convencionales: transmisión directa (cuando la luz atraviesa el objeto sin que

sufra una alteración en la dirección y la calidad), transmisión total (como una combinación de transmisión directa y difusa) y reflectancia espectral (que hace referencia al reflejo de luz incidente desde una interfaz como porosidad. De esa manera, en el estudio se empleó el parámetro de translucidez con el fin de determinar la reflectancia espectral (23).

Basándonos en el estudio de Kamishima y colaboradores, se podría afirmar que cuando el valor del parámetro de translucidez es 2 o menor, el ojo humano puede distinguir el color de la restauración sin que se vea influenciado por el fondo (20). A pesar de que el uso del parámetro de translucidez como método de medición en odontología es discutible, actualmente consideramos que se trata de un parámetro bien establecido. En el presente estudio, los valores obtenidos por ambos grupos fueron superiores a 2 (grupo impresoras 3D: 7,26 grupo PMMA fresado : 6,50), por lo que ambos materiales con el grosor estudiado, tendrían una opacidad insuficiente para camuflar por completo el valor del muñón.

Relación de contraste

La translucidez de los materiales también se puede describir gracias a la relación de contraste, que se define como la relación de la reflectancia luminosa de un material translúcido en un respaldo negro a la reflectancia luminosa del mismo material en un respaldo blanco (6, 20).

De esta definición, se deduce que cuando los dos los valores de reflectancia luminosa son idénticos, el material está enmascarando completamente los fondos y la relación de contraste (RC) es uno, que es el valor más alto para esta medida (24).

Basándonos en revisiones previas, como la de Johnston (2014), cabe destacar varios conceptos importantes de la definición de relación de contraste. Por un lado, se ha visto que el grosor del material afecta significativamente a la relación de contraste, ya que ese grosor afecta su reflectancia en cada uno de los fondos y en segundo lugar, hay que tener en cuenta que los valores de

reflectancia de los fondos afectan la relación de contraste calculada (6).

Al conocer la relación que hay entre el grosor y la relación de contraste, se podría calcular el grosor requerido para que el material provisional presente cierta relación de contraste. Este método ofrece la posibilidad de establecer una relación de contraste crítica para una determinada aplicación y de esta manera controlar el grosor requerido para obtener este valor crítico de translucidez. Todo ello nos hace pensar que, al igual que en la transmitancia directa, se podría calcular el espesor para producir una cierta relación de contraste, ya que tenemos un conocimiento previo de la relación entre el espesor y ese parámetro.

Opalescencia

Al analizar la literatura previa disponible, existen distintos estudios que hacen referencia a la opalescencia como característica deseable para los materiales de restauración dentales (5,24). Sin embargo, cabe destacar que no se han encontrado estudios que analicen propiamente dicha característica por lo que resulta imposible comparar los resultados de la presente investigación con artículos previos. Dentro de los resultados obtenidos, las variaciones que aparecen entre los grupos son de pequeña magnitud y sin significación estadística lo que parece sugerir que no existen grandes diferencias entre ambos materiales en cuanto a esta propiedad. En base a esto, se considera necesario la continuación de esta línea de investigación, ampliando el tamaño muestral para obtener conclusiones más claras al respecto.

Una vez vistos los parámetros estudiados en la presente investigación, desde un punto de vista más general y basándonos en la literatura, podríamos afirmar que las propiedades ópticas están influenciadas tanto por la microestructura del material y su composición, como por el grosor, por lo que es muy importante tener en cuenta todos estos factores a la hora de elegir el material y el diseño para confeccionar una restauración, tanto provisional como definitiva.

Dado que el color y las otras propiedades ópticas, como la translucidez y la opalescencia son importantes para la coincidencia de tonos y la apariencia

estética en odontología, sería muy favorable conseguir una estandarización de los métodos empleados para el análisis de dichas propiedades.

A la vista de los resultados obtenidos, puede deducirse que para un mismo grosor el material PMMA-fresado tiene una mayor opacidad que el material fotopolímero-impresora 3D, lo que desde un punto de vista clínico podría indicar que el primero es más recomendable para aquellas restauraciones en las que sea preciso enmascarar el color del sustrato.

Actualmente, la literatura relacionada con las restauraciones provisionales obtenidas mediante tecnología CAD/CAM es escasa y más aún si hablamos de las propiedades ópticas. Por ello, de nuevo merece la pena hacer hincapié en la necesidad de futuros estudios que analicen y comparen los distintos parámetros mencionados anteriormente (transmitancia directa, parámetro de translucidez, relación de contraste...) de los distintos materiales empleados en restauraciones provisionales, sobre todo al tratarse del sector anterior, ya que a pesar de no ser una prótesis definitiva, actualmente tienen una gran importancia clínica.

LIMITACIONES DEL ESTUDIO

En los análisis realizados se emplea el término “tamaño del efecto”, relacionado con el número de casos. El tamaño del efecto es un indicador de la magnitud de los cambios observados en las variables que se miden (variables dependientes) debidos a la influencia (o efecto) de las variable independientes explicativas o que se manipulan. Es un valor que se expresa en escala d de Cohen (diferencia tipificada) o en escala R-cuadrado (varianza explicada) y que permite comparar resultados en variables con distintas unidades de medida.

Aunque la interpretación es algo subjetiva y puede variar según el área de la Ciencia, se puede usar esta valoración:

Relación de *d* de Cohen con valores de correlación *r* y de *R*² (varianza explicada)

T.E. pequeño			T.E. moderado			T.E. grande			T.E. muy grande		
<i>d</i>	<i>r</i>	<i>R</i> ²	<i>d</i>	<i>r</i>	<i>R</i> ²	<i>d</i>	<i>r</i>	<i>R</i> ²	<i>d</i>	<i>r</i>	<i>R</i> ²
0	0	0%	0,400	0,196	3,8%	0,800	0,371	13,8%	1,200	0,514	26,5%
0,100	0,050	0,2%	0,500	0,243	5,9%	0,900	0,410	16,8%	1,300	0,545	29,7%
0,200	0,100	1,0%	0,600	0,287	8,3%	1,000	0,447	20,0%	1,400	0,573	32,9%
0,300	0,148	2,2%	0,630	0,300	9,0%	1,100	0,482	23,2%	1,500	0,600	36,0%
			0,700	0,330	10,9%	1,150	0,500	25,0%	>	>	>

El tamaño del efecto moderado expresa diferencias que son reales y que se pueden detectar hasta con muestras tan pequeñas como $50 < N < 100$. El tamaño del efecto pequeño es indicativo de que puede haber algo, pero para detectarlas con cierta seguridad se necesitarían muestras de alrededor de $N=500$. El tamaño grande o muy grande, evidentemente son diferencias que existen con elevado grado de confianza y que se detectan casi a “simple vista” y hasta con muestras muy pequeñas (25,26).

8. CONCLUSIONES

A la vista de los resultados obtenidos y teniendo en cuenta las limitaciones del presente estudio, se obtienen las siguientes conclusiones:

1.- Tras evaluar la **translucidez**, podemos confirmar la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre los dos grupos a partir de la medición de la transmitancia directa (TD) A 510 nm, incrementándose en la medición de 780 nm, siendo los valores más elevados en el grupo de PMMA fresado. En cuanto al parámetro de translucidez (PT) y a la relación de contraste (RC), las diferencias encontradas no mostraron significación estadística si bien los valores también reflejaron una mayor translucidez para el grupo fotopolímero-impresora 3D.

2.- En cuanto a la **opalescencia**, no se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas, siendo además las diferencias entre los grupos de pequeña magnitud.

9. REFERENCIAS

1. Givens Jr EJ, Neiva G, Yaman P, Dennison JB. Marginal adaptation and color stability of four provisional materials. *J Prosthodont* 2008;17 (2): 97-101.
2. Koumjian JH, Holmes JB. Marginal accuracy of provisional restorative materials. *J Prosthet Dent* 1990; 63: 639-42.
3. Abdullah AO, Tsitrou EA, Pollington S. Comparative in vitro evaluation of CAD/CAM vs conventional provisional crowns. *J Appl Oral Sci* 2016; 24 (3): 258-263.
4. Friebel M, Povel K, Cappius H, Helfmann J, Meinke MC. Optical properties of dental restorative materials in the wavelength range 400 to 700 nm for the simulation of color perception. *J Biomed Opt* 2009; 14 (5): 054029.
5. Della Bona A, Nogueira AD, Pecho OE. Optical properties of CAD–CAM ceramic systems. *J Dent* 2014; 42 (9): 1202-1209.
6. Johnston WM. Review of translucency determinations and applications to dental materials. *J of Esthet Restor Dent* 2014; 26 (4): 217-223.
7. Ishida Y, Miyasaka T. Dimensional accuracy of dental casting patterns created by 3D printers. *Dent Mater J* 2016; 35 (2): 250-256.
8. Andonovi Ć V, Vrtanoski G. Growing rapid prototyping as a technology in dental medicine. *Mech Eng Sci J* 2010; 29: 31–39.
9. Liu Q, Leu M C, Schmitt S M. Rapid prototyping in dentistry: technology and application. *Int J Adv Manuf Technol* 2006; 29: 317–335.
10. Dawood A, Marti BM, Sauret-Jackson V, Darwood A. 3D printing in dentistry. *Br Dent J* 2015; 219 (11): 521-529.
11. Blum SL, Horn M, Olms C. A comparison of intraoral spectrophotometers—Are there user-specific differences? *J Esthet Restor Dent* 2018; 1-7

12. Kim-Pusateri S, Brewer JD, Davis EL, et al. Reliability and accuracy of four dental shade-matching devices. *J Prosthet Dent*. 2009;101(3): 193-199.
13. Paul SJ, Peter A, Rodoni L, Pietrobon N. Conventional visual vs spectrophotometric shade taking for porcelain-fused-to-metal crowns: a clinical comparison. *Int J of Periodontics Restorative Dent* 2004; 24: 222–31.
14. Gómez-Polo C, Montero J, Gómez-Polo M, Casado AMM. Clinical study on natural gingival color. *Odontology* 2018:1-10.
15. Chu SJ, Trushkowsky RD, Paravina RD. Dental color matching instruments and systems. Review of clinical and research aspects. *J Dent* 2010; 38: e2-e16.
16. Marjanovic J, Veljovic DN, Stasic JN, Savic-Stankovic T, Trifkovic B, Miletic V. Optical properties of composite restorations influenced by dissimilar dentin restoratives. *Dent Mater* 2018; 34 (5): 737-745.
17. Brodbelt R, O'brien W, Fan P. Translucency of dental porcelains. *J Dent Res* 1980; 59: 70-75.
18. Arikawa H, Fujii K, Kanie T, Inoue K. Light transmittance characteristics of light-cured composite resins. *Dent Mater* 1998;14(6): 405-411.
19. O'Keefe KL, Pease PL, Herrin HK. Variables affecting the spectral transmittance of light through porcelain veneer samples. *J Prosthet Dent* 1991 Oct; 66 (4): 434-438.
20. Kamishima N, Ikeda T, Sano H. Color and translucency of resin composites for layering techniques. *Dent Mater J* 2005; 24 (3): 428-32.
21. Vichi A, Sedda M, FabianFonzar R, et al. Comparison of contrast ratio, translucency parameter, and flexural strength of traditional and “augmented translucency” Zirconia for CEREC CAD/CAM System. *J Esthet Restor Dent*. 2016; 28 (1): S32–S39.
22. Nogueira AD, Della Bona A. The effect of a coupling medium on color and translucency of CAD-CAM ceramics. *J Dent*. 2013;41(3): e18–e23.
23. Lim HN, Yu B, Lee YK. Spectroradiometric and spectrophotometric translucency of ceramic materials. *J Prosthet Dent*. 2010; 104 (4): 239–

24. Shiraishi T, Watanabe I. Thickness dependence of light transmittance, translucency and opalescence of a ceria-stabilized zirconia/alumina nanocomposite for dental applications. *Dent Mater* 2016; 32 (5): 660-667.
25. Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. 2nd. edit., Hillsdale, N.J., Erlbaum (1ª edición, 1977 New York: Academic Press)
26. Hinkle DE, Wiersma W, Jurs SG. *Applied Statistics for the Behavioral Sciences*. 5th ed. Boston: Houghton Mifflin; 2003.

10. ANEXOS

Anexo I: Valores L a* b* en material de impresión 3D sobre fondo blanco y fondo negro en el GRUPO A (impresora 3D)*

	Fondo blanco				Fondo negro			
	Medición 1	Medición 2	Medición 3	MEDIA	Medición 1	Medición 2	Medición 3	MEDIA
Muestra 1	L* 86.0 a* -1.4 b* 37.3	L* 85.6 a* -1.4 b* 37.0	L* 85.9 a* -1.3 b* 36.9	L* 85.8 a* -1.3 b* 37.0	L* 80.9 a* -2.6 b* 31.8	L* 80.8 a* -2.6 b* 32.2	L* 81,4 a* -2.6 b* 32.3	L* 81.0 a* -2.6 b* 32.1
Muestra 2	L* 84.3 a* -0.8 b* 40.0	L* 84.4 a* -1.2 b* 38.8	L* 84.5 a* -0.7 b* 40.2	L* 84.4 a* -0.9 b* 39.6	L* 80.4 a* -1.8 b* 35.7	L* 79.9 a* -2.3 b* 33.5	L* 79.9 a* -2.5 b* 32.5	L* 80.0 a* -2.2 b* 33.9
Muestra 3	L* 87.1 a* -2.4 b* 35.7	L* 87.2 a* -2.4 b* 35.8	L* 87.4 a* -2.7 b* 34.5	L* 87.2 a* -2.5 b* 35.3	L* 83.9 a* -3.2 b* 31.9	L* 83.6 a* -3.3 b* 30.9	L* 82.4 a* -3.4 b* 31.1	L* 83.3 a* -3.3 b* 31.3
Muestra 4	L* 84.1 a* -4.1 b* 24.8	L* 83.9 a* -4.9 b* 24.3	L* 83.5 a* -4.8 b* 24.1	L* 83.8 a* -4.6 b* 24.4	L* 77.6 a* -5.5 b* 19.2	L* 77.0 a* -5.6 b* 18.4	L* 76.8 a* -5.6 b* 18.5	L* 77.1 a* -5.5 b* 18.7
Muestra 5	L* 88.3 a* -3.0 b* 36.8	L* 88.2 a* -3.4 b* 35.8	L* 88.5 a* -3.5 b* 35.3	L* 88.3 a* -3.3 b* 35.9	L* 83.3 a* -4.2 b* 30.9	L* 83.5 a* -4.4 b* 29.2	L* 84.0 a* -4.3 b* 30.2	L* 83.6 a* -4.3 b* 30.1

Anexo II: Valores L* a* b* en material de impresión 3D sobre fondo blanco y fondo negro en el Grupo B (PMMA fresado)

	Fondo blanco				Fondo negro			
	Medición 1	Medición 2	Medición 3	MEDIA	Medición 1	Medición 2	Medición 3	MEDIA
Muestra 1	L* 80.0 a* 1.4 b* 34.7	L* 79.5 a* 1.7 b* 35.4	L* 79.1 a* 1.8 b* 35.6	L* 79.5 a* 1.6 b* 35.2	L* 74.8 a* -0.8 b* 29.7	L* 75.7 a* -0.8 b* 30.3	L* 75.9 a* -0.7 b* 30.8	L* 75.4 a* -0.7 b* 30.26
Muestra 2	L* 78.3 a* 1.6 b* 35.6	L* 78.5 a* 1.4 b* 35.5	L* 78.4 a* 1.5 b* 35.0	L* 78.4 a* 1.5 b* 35.3	L* 74.5 a* -0.6 b* 30.3	L* 74.4 a* -0.8 b* 29.9	L* 74.4 a* -0.8 b* 30.2	L* 74.4 a* -0.7 b* 30.1
Muestra 3	L* 77.7 a* 1.4 b* 34.5	L* 78.0 a* 1.4 b* 35.3	L* 78.2 a* 1.4 b* 35.5	L* 77.9 a* 1.4 b* 34.6	L* 73.7 a* -1.0 b* 29.4	L* 73.8 a* -1.1 b* 29.6	L* 73.8 a* -1.0 b* 29.2	L* 73.7 a* -1.0 b* 29.4
Muestra 4	L* 78.5 a* 1.3 b* 35.1	L* 78.5 a* 1.3 b* 35.1	L* 77.8 a* 1.4 b* 34.2	L* 78.2 a* 1.3 b* 34.8	L* 74.6 a* -0.9 b* 29.9	L* 74.7 a* -1.0 b* 30.0	L* 74.4 a* -0.8 b* 29.7	L* 74.5 a* -0.9 b* 29.8
Muestra 5	L* 77.6 a* 1.2 b* 34.2	L* 77.2 a* 1.2 b* 33.8	L* 77.6 a* 1.3 b* 34.9	L* 77.4 a* 1.2 b* 34.3	L* 74.6 a* -0.9 b* 30.6	L* 75.1 a* -0.9 b* 30.6	L* 74.8 a* -1.0 b* 30.3	L* 74.8 a* -0.9 b* 30.5