

Facultad de Odontología
Departamento de Estomatología I
Máster Oficial en Ciencias Odontológicas

ESTUDIO “IN VITRO” DE CORONAS PROVISIONALES DE
ÁCIDO POLILÁCTICO(PLA) CONFECCIONADAS
MEDIANTE IMPRESORAS 3D



TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

Autor: Silvia Canals Conde

Director: Dr Jaime del Río Highsmith

Madrid, 2017

ÍNDICE

ÍNDICE

Introducción	1-7
-Restauraciones provisionales	2-3
-Impresión 3D en Odontología	3-4
-Ácido Poliláctico (PLA)	4-5
-Ajuste marginal en prótesis fija	5-6
-Resistencia a la flexión	6-7
Justificación	8-9
Hipótesis y Objetivos	10-11
Material y métodos	12-20
Resultados	21-33
Discusión	34-39
Conclusiones	40-41
Bibliografía	42-44
Anexos	45-71
-Anexo 1. Ajuste marginal	46
-Anexo 2. Ensayo de flexión	47-68
-Anexo 3. Especificaciones técnicas Witbox 2	69-71

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

RESTAURACIONES PROVISIONALES

De acuerdo con la definición del Glosario de Términos Prostodónticos, un provisional es una prótesis dental o maxilofacial, fija o removible, diseñada para mejorar la estética, la estabilización y/o la función, durante un periodo limitado de tiempo, que más adelante será reemplazada por una prótesis dental o maxilofacial definitiva¹.

Los provisionales son esenciales en la terapia protésica. Normalmente se utilizan por periodos largos, por lo que es necesario que tanto las restauraciones como las coronas provisionales tengan una serie de requisitos y de características^(2,3).

Deben proporcionar protección pulpar, mantenimiento de la salud periodontal, al igual que deben tener una serie de propiedades mecánicas y físicas ideales como: alta resistencia a la flexión, resistencia al desgaste oclusal, resistencia a la fractura, estabilidad dimensional, ajuste marginal adecuado, estabilidad cromática y una estética óptima⁽²⁻⁴⁾.

Existen diferentes métodos de fabricación de provisionales. Se pueden fabricar tanto en la propia clínica como en el laboratorio dental, o lo que es lo mismo, de manera directa o indirecta^(2,4). La selección de la técnica apropiada dependerá de factores como el tiempo de trabajo del material y de fraguado, la facilidad para manejarlo y el coste¹.

Los principales materiales que se utilizan para la fabricación de provisionales son diferentes tipos de resinas acrílicas como: polimetilmetacrilato (PMMA), polietilmetacrilato (PEMA), polivinilmetacrilato, resina bis-acrílica y dimetacrilato de uretano^(1,4).

Hoy en día, se ha dado un gran avance en la fabricación tanto de coronas provisionales como de coronas definitivas mediante técnicas como el CAD/CAM (Computer-Aided Design/Computer-Aided Manufacturing), las siglas CAD se corresponden con la fase de diseño de la restauración mientras que las siglas CAM corresponden a la fabricación de la propia restauración, mediante el fresado de la misma^(5,6).

El avance de la odontología digital ha llegado a la impresión 3D, en la cual se realiza el proceso de diseño de la restauración CAD y se procede a su posterior impresión.

IMPRESIÓN 3D EN ODONTOLOGÍA

Mediante la impresión 3D, se pueden realizar objetos tridimensionales sólidos a partir de un modelo digital, creado mediante la superposición de capas sucesivas de material fundido. La impresión 3D se logra gracias a procesos aditivos^(7,8).

Esta tecnología ya lleva utilizándose en odontología y en cirugía maxilofacial durante años, por ejemplo en la impresión de guías quirúrgicas para la colocación de implantes⁸.

Los usos de las impresoras 3D en odontología son varios: guías quirúrgicas para implantes dentales, férulas de descarga, bases para prótesis removibles, provisionales, modelos⁸. En este estudio nos centraremos en la impresión de provisionales.

Al igual que en la tecnología CAD/CAM, es necesaria una digitalización bien con un escáner intraoral o con un escáner extraoral. También es necesario que se dé un procesamiento de datos. Se realiza la reconstrucción de modelos digitales de las distintas piezas. A partir del modelo digital se realizarán los ajustes necesarios y se diseñará la nueva prótesis o puente de piezas dentales. Por último se procedería a la impresión 3D⁸.

La impresión 3D ofrece una serie de ventajas en la odontología digital:

- Mejor terminación en la fabricación de piezas dentales en comparación con métodos tradicionales.
- Al contrario de otros sistemas de Diseño Asistido por Computadora (CAD) / Manufactura Asistida por Computadora (CAM), no hay desperdicio en materiales, ya que la impresión 3D es una tecnología aditiva, esto significa que se van adhiriendo capas de material de acuerdo a la necesidad de cada geometría. A pesar de esto, los sistemas CAD/CAM tienen todavía la ventaja de realizar piezas dentales definitivas.
- Las impresoras 3D brindan la posibilidad de hacer geometrías muy complejas.

Existen varios modelos de impresoras 3D⁹:

- Sinterización láser
- Estereolitografía
- Compactación
- Adición o inyección de polímeros

Esta última la consideraríamos de mayor interés, ya que es este tipo de impresora la que se va a utilizar en el estudio.

Las impresoras de adición son aquellas que utilizan el sistema FDM: Fused Deposition Modeling o Modelado por Deposición Fundida. Lo que hace esta impresora 3D es calentar un filamento de plástico hasta fundirlo y lo deposita en una bandeja en una posición concreta para dar forma a la pieza que se desee construir. Esta impresora 3D deposita este filamento a través de capas^(7,8).

ÁCIDO POLILÁCTICO (PLA)

El PLA es uno de los materiales más usados en las impresoras 3D que utilizan tecnología de extrusión FDM.

El ácido poliláctico es un biopolímero termoplástico que tiene como molécula precursora el ácido láctico. Es un material biodegradable y biocompatible. Es un material ampliamente utilizado en la industria alimenticia, química, farmacéutica (cápsulas para liberación lenta de fármacos), industria textil e incluso en el ámbito odontológico se ha utilizado como membrana en regeneraciones óseas^(10,11).

En su forma normal, el ácido poliláctico es un polímero incoloro, resistente a la humedad, con características de barrera del sabor y del olor¹⁰.

Ficha técnica

Propiedad	Valor	Unidades	Métodos de testeo
Propiedades generales			
-Densidad	1,24	g/cm ³	ASTM D792
Propiedades mecánicas			
-Módulo elástico	3600	MPa	ISO 178
en flexión			
-Resistencia	108	MPa	ISO 178
a la flexión			
-Dureza Sh D	85	SH D	ASTM D2240
Propiedades térmicas			
-Temperatura de	56	°C	ISO 75/2B
flexión bajo carga			
-Temperatura de	145-160	°C	ASTM D3418
fusión			
-Temperatura de	56-64	°C	ASTM D3418
transición vítrea			

AJUSTE MARGINAL EN PRÓTESIS FIJA

Una posible definición para el ajuste o sellado marginal de las coronas en prótesis fija es: “exactitud con la que encaja una restauración de prótesis fija sobre una línea de terminación, previamente preparada en la porción cervical de la corona dentaria, mediante un instrumento rotatorio de alta velocidad”¹².

A la hora de evaluar el éxito y la calidad de una restauración, la discrepancia marginal es un criterio esencial. Un ajuste marginal inadecuado puede llevar a la disolución del cemento, a microfiltraciones, y a un incremento en la retención de placa, que puede llevar a la aparición de caries secundaria con una subsecuente inflamación pulpar^(13,14).

A la hora de realizar restauraciones fuera de boca, de forma indirecta, como es el caso de los provisionales fabricados con impresoras 3D, se genera una interfase, es decir, un espacio entre el diente y la corona. Este espacio se rellena con el cemento, que habrá mayor cantidad cuanto mayor sea la discrepancia entre corona y diente, lo que se relaciona con un índice de placa más alto y con una mayor pérdida de inserción¹⁴.

En la literatura se han propuesto valores máximos de desadaptación marginal aceptable clínicamente, existiendo un consenso de que una desadaptación por debajo de 120 μm es aceptable¹³.

Existen diferentes terminologías a la hora de definir el concepto de ajuste marginal, por lo que para evitar estas discrepancias Holmes y Cols definen el ajuste midiendo el desajuste en varios puntos entre el diente y la superficie de la restauración¹².

RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

La resistencia a la flexión se define como la carga máxima que es capaz de soportar un material antes de fracturarse. Se relaciona directamente con el módulo de elasticidad. A mayor módulo de elasticidad, mayor resistencia a la flexión. De acuerdo a la normativa UNE-EN ISO 4049: 2009, la resistencia a la flexión de materiales dentales a base de polímeros debe ser $\geq 80 \text{ MPa}$ ¹⁵.

Conocer la resistencia a la flexión de un material es necesario para conocer la resistencia a las fuerzas oclusales del mismo. Su cuantificación, en conjunto con la medición de otros parámetros, permite predecir la aparición de fracturas del propio material, lo que permite determinar la longevidad del material a estudiar¹⁵.

Para medir la resistencia a la flexión, existen tanto métodos estáticos como métodos dinámicos. 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 elasticidad¹⁵.

JUSTIFICACIÓN

JUSTIFICACIÓN

JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

En los últimos años se han dado serios avances en la odontología digital en general y poco a poco estos avances han llegado hasta las impresoras 3D, que cada vez se introducen más en la práctica diaria en clínica.

Tanto los materiales empleados por las impresoras 3D como sus propiedades físico-químicas, suponen una mejora con respecto a los tradicionales. Los materiales plásticos tienen una serie de ventajas: bajo coste, dureza, reparación, elasticidad, abrasión etc. De ahí que se plantee su uso para provisionales que deben permanecer un largo periodo en boca.

Pero resulta imprescindible conocer el comportamiento de este tipo de restauraciones en el aparato estomatognático, y así lo haremos con una serie de pruebas objetivas en este caso, la adaptación marginal y la resistencia a la flexión.

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

OBJETIVOS

1. Evaluar la adaptación marginal total de las restauraciones de PLA mediante proyector de perfiles.
2. Evaluar la resistencia a la flexión “in vitro” de las restauraciones realizadas con PLA y realizar una comparación entre dos distintos grosores, determinando si este factor influye en las propiedades de flexión del material.

HIPÓTESIS

En base a la literatura consultada planteamos la siguiente Hipótesis nula (H0) :

El ácido poliláctico (PLA) alcanza grados similares de ajuste al PMMA, o materiales similares.

MATERIAL Y MÉTODOS

MATERIAL Y MÉTODOS

DISEÑO DEL ESTUDIO

Se trata de un ensayo “in vitro” en el cual se confeccionaron 15 coronas dentosoportadas para el estudio de la adaptación marginal. En primer lugar se diseñarán mediante un sistema CAD para proceder posteriormente a su impresión mediante la impresora 3D Witbox 2, con el material a estudiar: el Ácido Poliláctico (PLA).

Para los ensayos de flexión se confeccionaron 20 probetas con las siguientes medidas: 10 de ellas de 35 mm de largo, 10 mm de ancho y 1,5 mm de espesor y las otras 10; 35 mm de largo, 10 mm de ancho y 2 mm de espesor.

Esta investigación está apoyada por la empresa EuroOrtodoncia S.L. y por el acuerdo existente entre la U.C.M. y la empresa BQ.

IMPRESIÓN 3D

Se procederá al escaneado del modelo de escayola mediante el escáner extraoral ZFX de Zimmer. A continuación se procederá al diseño de la corona mediante el programa Exocad, del cual se obtendrá un archivo STL.

Este archivo STL será trasladado al programa Cura, programa que utiliza la impresora Witbox 2 para ajustar los parámetros de la impresión. Los parámetros utilizados en el programa Cura, para la impresión de las coronas fueron los siguientes:

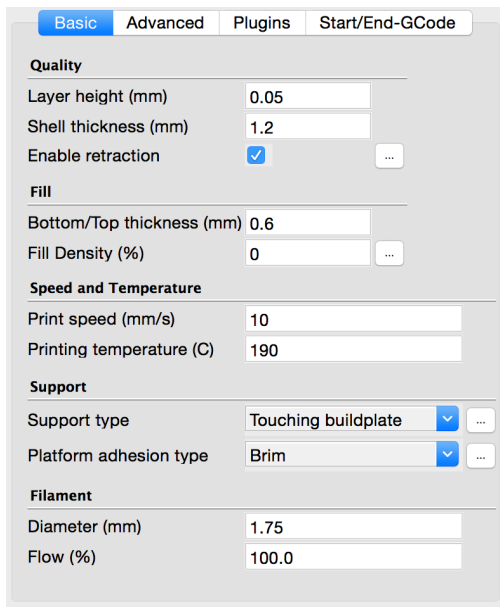


Fig 1. Parámetros Cura de las coronas

Los parámetros fueron ajustados en base a las recomendaciones del fabricante. Se realizó la impresión con una boquilla de 0,2 mm, la boquilla con el diámetro más pequeño, para que así, junto con el ajuste de los parámetros se obtuviesen coronas lo más exactas y precisas posibles, dentro de las limitaciones de la propia impresora.

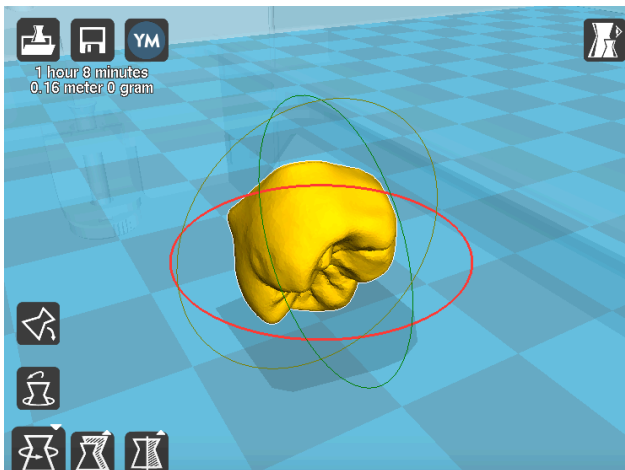


Fig 2. Corona en ángulo de 135º

A su vez, para la impresión de las coronas, se utilizó un ángulo de 135º, en base a un reciente estudio en el que se estudiaban diferentes ángulos en la construcción de las coronas, llegando a la conclusión de que este ángulo era el más adecuado para la fabricación de las mismas¹⁶.

Para la realización de las probetas se cambió únicamente uno de los parámetros: la densidad de relleno, pasando de un 0% a un 100%.

El diseño de las probetas fue realizado por la empresa BQ.

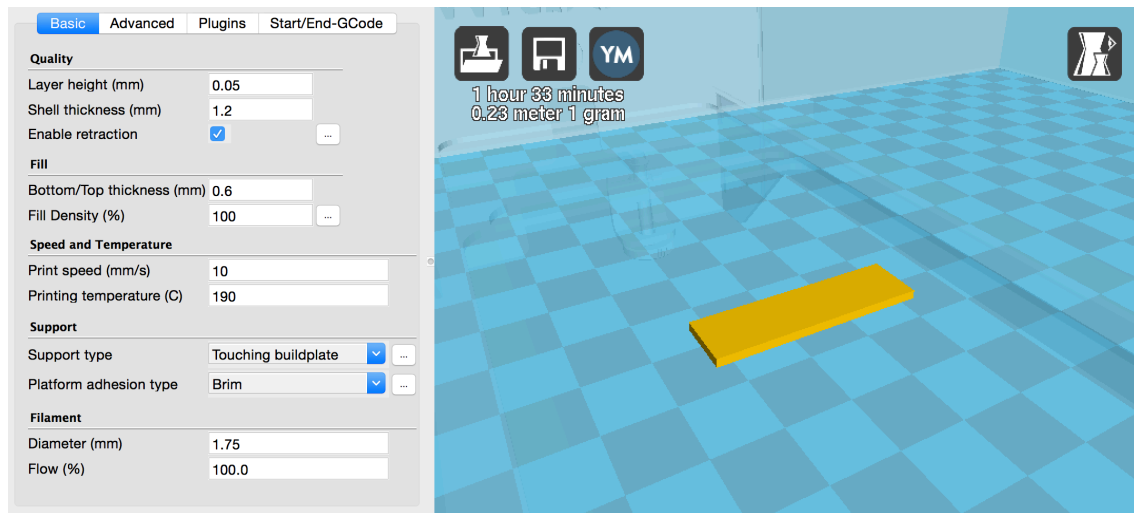


Fig 3. Parámetros Cura de las probetas

AJUSTE MARGINAL

Tanto la prueba de adaptación marginal como de resistencia a la flexión se realizarán en el laboratorio de EuroOrtodoncia S.L. (Alcorcón, Madrid).

Para realizar las mediciones de adaptación marginal se utilizará un Proyector de perfiles. Mediante este Proyector de perfiles se midió la discrepancia marginal vertical externa de las restauraciones, en seis puntos en cada corona.

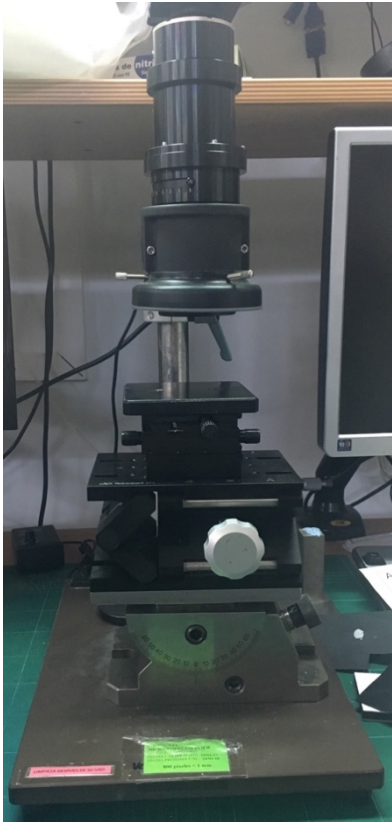


Fig 4. Microscopio Toupview

-Microscopio Toupview

-Nº de serie: C1604280431

-Fecha de calibración: 24-01-17

Se realizan tres marcas en vestibular y tres marcas en lingual en el modelo, realizando las mediciones de todas las coronas en los mismos puntos.

Se coloca el muñón con la corona en la plataforma del Proyector de perfiles y se realizan las fotografías en el margen de la preparación, en los puntos que fueron previamente marcados. Se obtiene la siguiente imagen:



Fig 5. Imagen obtenida con el Proyector de perfiles

Una vez obtenidas las imágenes, se procede a la medición de la discrepancia en micras con el programa informático ImageJ. Antes de realizar las mediciones, se calibra el programa para comprobar que las mediciones son exactas.

RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

Para el ensayo de resistencia a la flexión se realizará el diseño de las probetas; proporcionado por la empresa BQ y se procederá a su impresión. Estas pastillas serán de 35 mm de largo, 10 mm de ancho y 1,5 mm de espesor o de 2 mm de espesor:

-PLA 1,5x10mm (10)

-PLA 2x10mm (10)

El ensayo de flexión se realizará en base a la norma UNE-EN ISO 178:2010 “Plásticos. Determinación de las propiedades de flexión”.

Para la realización del ensayo se utilizará una “Máquina de ensayos universal” de la marca Zwick/Roell, con registro software test Xpert®II V143, modelo BT1-FR2.5TS.D14, nº serie 179392.



Fig 6. Célula de carga.



Fig 7. Máquina de Ensayos Universal



Célula de carga:

-Tipo: KAF-TC.

-Fuerza maxima: 2,5 KN.

-No serie: 07-4239.

-Fecha fabricación: 2007.

-Fecha calibración: 21-02-12.

Antes de realizar el ensayo, se midieron todas las probetas mediante un calibre digital.



Fig 8. Calibre digital

-Fecha de calibración: 31-03-17

Los resultados de las mediciones de las probetas fueron los siguientes:

PROBETAS 1,5X10MM

Probetas	Espesor mm	Ancho mm
1	1.35	10.01
2	1.26	10.02
3	1.37	9.93
4	1.35	10.03
5	1.24	10.02
6	1.36	10.08
7	1.27	10.15
8	1.56	9.94
9	1.28	9.97
10	1.37	9.99

PROBETAS 2X10MM

Probetas	Espesor mm	Ancho mm
1	1.90	9.88
2	1.74	9.94
3	1.75	9.87
4	1.79	9.90
5	1.79	9.91
6	1.82	9.93
7	1.85	10.19
8	2.13	9.90
9	1.82	9.93
10	1.82	9.93

Para los ensayos se utilizará una precarga de 0,2N, una velocidad del módulo-E de 1mm/min y una velocidad de ensayo de 1mm/min, de acuerdo a la norma. Todos los ensayos se realizarán en condiciones ambientales: 20°C+ 2Cº. Todos los instrumentos que se usaron están calibrados. La distancia entre apoyos será de 24 mm, según la norma.

El ensayo se realizará por carga a tres puntos, en el que se aplica la carga en un punto equidistante de los dos puntos sobre los que se apoyan las probetas. Los parámetros de velocidad y fuerza previamente mencionados se irán aplicando, que producirán en el

material deformaciones elásticas y plásticas, hasta que se fractura o no el material. La deformación máxima se fijará en 5 mm.

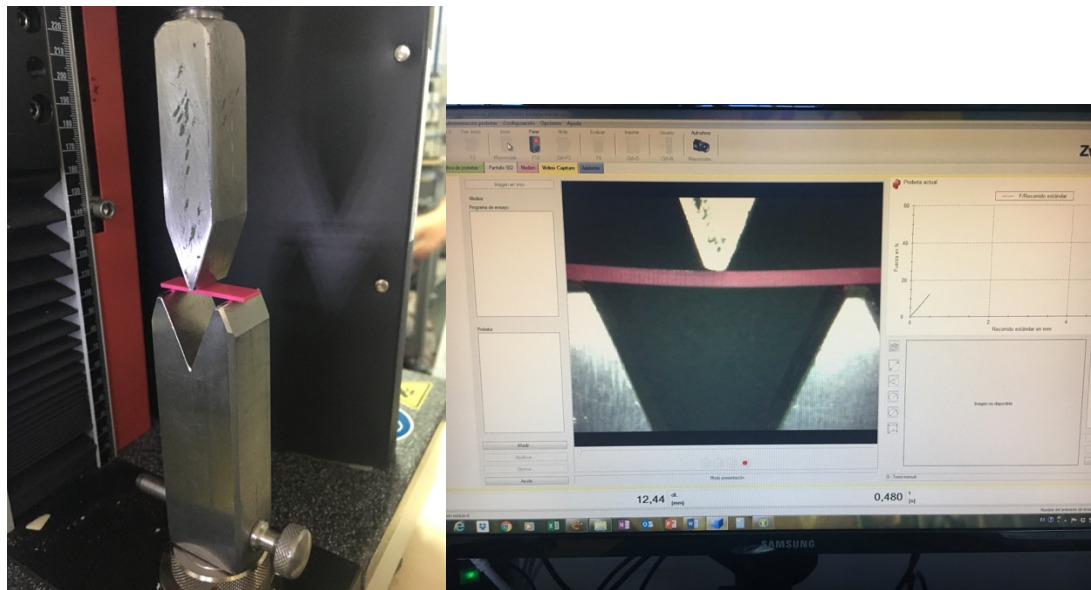


Fig 9. Utillaje de la máquina de ensayos

A medida que el material se va deformando, el software nos va proporcionando una gráfica con una curva de tensión-deformación en la que analizaremos los siguientes datos:

- Inicio del Módulo-E (N)
- Final del Módulo-E (N)
- Módulo de elasticidad (Mpa)
- Fuerza en 0,2% deformación plástica (N)
- Fuerza en rotura (N)
- Deformación en rotura (mm)
- Fuerza máxima (N)
- Deformación en fuerza máxima (mm)

RESULTADOS

RESULTADOS

ADAPTACIÓN MARGINAL (μm)

Como se ha mencionado anteriormente para realizar las mediciones de adaptación marginal se midió la discrepancia marginal vertical externa de las restauraciones, en seis puntos en cada corona. A continuación se presenta la discrepancia marginal vertical externa de cada corona en micras, en cada uno de los seis puntos:

Muestra	
1	241.299
	198.785
	290.000
	270.104
	240.000
	270.000
2	236.250
	232.530
	155.081
	385.292
	260.048
	250.000
3	213.750
	228.781
	105.067
	470.425
	300.000
	400.000
4	176.290

	<p>97.572</p> <p>105.000</p> <p>255.000</p> <p>255.000</p> <p>270.000</p>
5	<p>235.000</p> <p>200.000</p> <p>195.000</p> <p>385.032</p> <p>295.000</p> <p>370.034</p>
6	<p>176.254</p> <p>142.500</p> <p>85.000</p> <p>195.256</p> <p>185.068</p> <p>180.000</p>
7	<p>265.000</p> <p>225.000</p> <p>140.000</p> <p>475.237</p> <p>360.139</p> <p>370.000</p>
8	<p>187.500</p> <p>215.000</p> <p>170.074</p> <p>395.032</p>

	300.000
	290.172
9	415.000
	390.000
	370.034
	375.133
	400.031
	380.000
10	195.000
	185.068
	135.000
	190.066
	210.000
	195.000
11	205.000
	205.000
	155.000
	310.040
	295.042
	365.034
12	220.000
	215.058
	180.000
	367.534
	330.000
	315.000
13	307.500

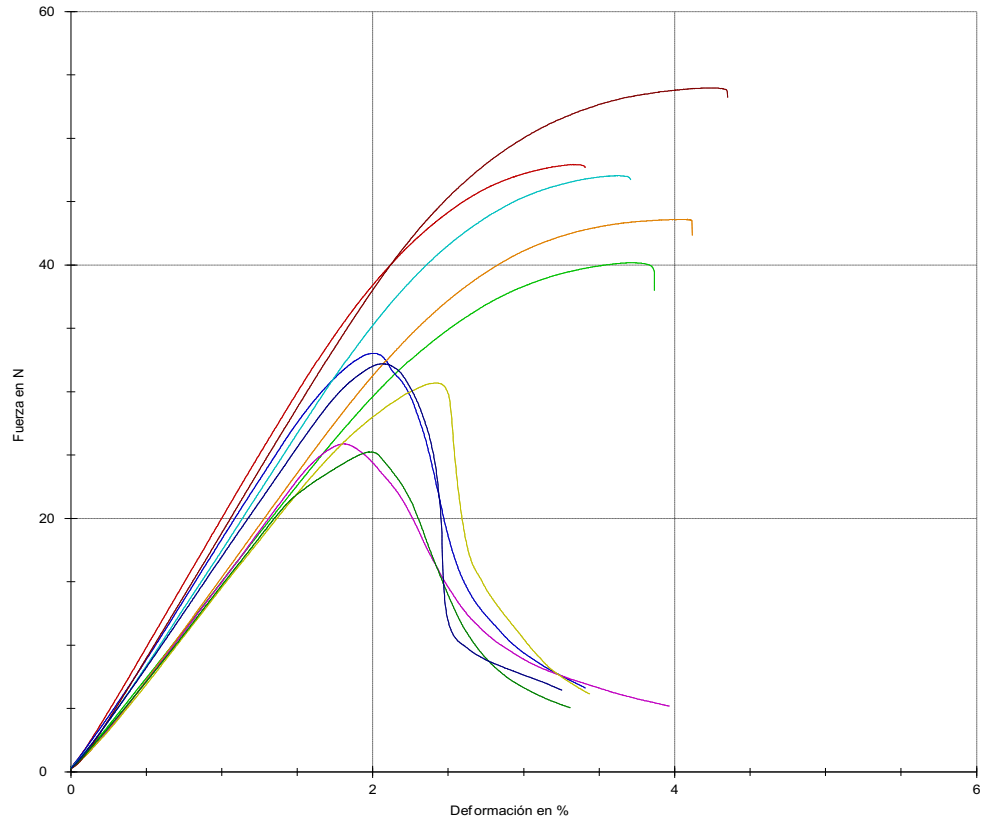
	180.000 247.500 365.137 330.038 390.000
14	262.500 202.500 192.516 412.500 325.038 345.036
15	322.500 360.000 345.000 285.000 240.000 277.500

ENSAYO DE FLEXIÓN

Se dispuso de 20 probetas; 10 de cada grosor. A medida que se realiza el ensayo y el material se va deformando, el software nos va proporcionando una gráfica con una curva de tensión-deformación y los datos que se presentan en las siguientes tablas:

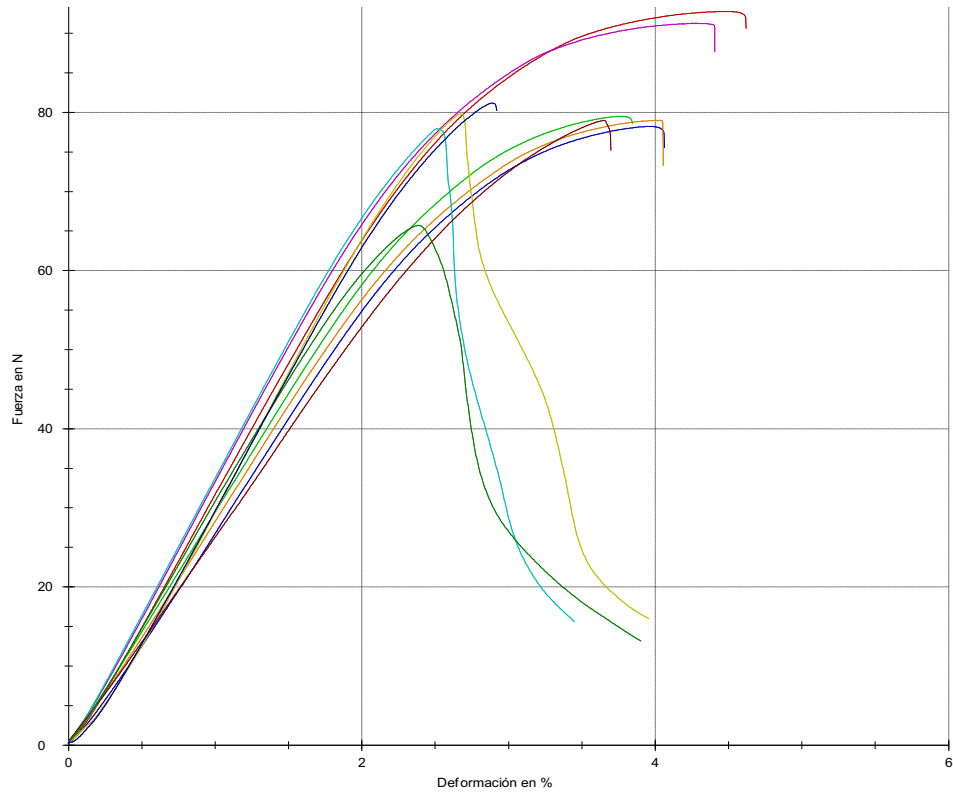
Probetas PLA 1,5X10 mm

N.º	F _{low}	F _{high}	E _{mod}	F en deformación plástica 0.2%	Límite superior de fluencia	dL en límite superior de fluencia	F _{max}	dL en F _{max}	F _{Rotura}	dL en rotura	a ₀	b ₀	S ₀
N	N	MPa	N	N	mm	N	mm	N	mm	mm	mm	mm	mm ²
1	5	31,4	4570	42,2	-	-	47,9	2,5	47,7	2,6	1,26	10,02	12,63
2	4,1	25,4	3000	35,1	-	-	40,2	2,6	38	2,7	1,35	10	13,5
3	4,91	30,3	3660	33	33	1,4	33	1,4	6,6	2,4	1,35	10,03	13,54
4	3,81	27	3160	38	-	-	43,6	2,9	42,3	2,9	1,37	9,93	13,6
5	3,49	23,7	3690	25,6	25,9	1,4	25,9	1,4	5,18	3,1	1,24	10,02	12,42
6	4,56	30,3	3530	41,8	-	-	47	2,6	46,7	2,6	1,36	10,08	13,71
7	3,44	23,2	3320	29,8	30,7	1,8	30,7	1,8	6,14	2,6	1,27	10,15	12,89
8	5,53	37,1	2920	46,6	-	-	54	2,6	53,2	2,7	1,56	9,94	15,51
9	3,72	22,8	3280	24,9	25,2	1,5	25,2	1,5	5,05	2,5	1,28	9,97	12,76
10	4,6	29	3330	32,2	32,2	1,4	32,2	1,4	6,44	2,3	1,37	9,99	13,69



Probetas PLA 2X10 mm

N.º	F{lo low}	F{lo high}	E{lo mod}	F en deformación plástica 0.2%	Límite superior de fluencia	dL en límite superior de fluencia	F{lo max}	dL en F{lo max}	F{lo Rotura}	dL en rotura	a{lo 0}	b{lo 0}	S{lo 0}
N	N	MPa	N	N	mm	N	mm	N	mm	mm	mm	mm	mm ²
1	11,4	73,4	3230	80,3	-	-	92,8	2,3	90,6	2,3	1,9	9,88	18,77
2	10,2	62,2	3500	69,7	-	-	79,5	2,1	78,6	2,1	1,74	9,94	17,3
3	8,74	59,3	3370	68	-	-	78,2	2,2	75,5	2,2	1,75	9,87	17,27
4	9,96	61,6	3220	68,3	-	-	79	2,2	73,3	2,2	1,79	9,9	17,72
5	11,6	71,8	3750	78,8	-	-	91,3	2,3	87,6	2,4	1,79	9,91	17,74
6	12,2	73,5	3630	77,9	-	-	77,9	1,3	15,6	1,8	1,82	9,93	18,07
7	9,03	72,7	3520	79,8	79,8	1,4	79,8	1,4	16	2,1	1,85	10,19	18,85
8	11,5	67,1	2060	72,2	-	-	79	1,6	75,2	1,7	2,13	9,9	21,09
9	10,9	64,7	3210	65,7	65,7	1,3	65,7	1,3	13,1	2,1	1,82	9,93	18,07
10	8,94	70,3	3630	78,4	-	-	81,2	1,5	80,2	1,5	1,82	9,93	18,07



ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

El análisis estadístico de los datos se realizó con el programa SPSS 22.0 para Windows.

Los métodos estadísticos utilizados fueron los siguientes¹⁷:

- Estadística descriptiva de las variables cuantitativas (procedimiento DESCRIPTIVE y EXPLORE) para la descripción de las muestras: media, desviación estándar, máximo, mínimo, mediana, desviación estándar de la media, y test de normalidad de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk, etc¹⁸.
- Test de la t de Student (procedimiento T-TEST) para la comparación de dos medias en variables cuantitativas, asumiendo o no igualdad de varianzas (método paramétrico). Se asume la normalidad en los datos. La igualdad de varianzas se contrasta con el test de Levene (lo que nos indicará si es más adecuado el test asumiendo varianzas iguales o desiguales)¹⁸.
- Test no paramétrico de Mann-Whitney (procedimiento NPTESTS) para la comparación de una variables cuantitativa entre dos grupos¹⁸.

AJUSTE MARGINAL μ m (tablas en Anexo 1)

Se realiza la descripción de las muestras mediante estadística descriptiva, obteniendo los siguientes resultados:

- Media: 265.965
- Error estándar a la media: 145.022
- Mediana: 271.265
- Desviación estándar: 56.166
- Mínimo: 160.679
- Máximo: 388.366

ENSAYO DE FLEXIÓN (tablas en Anexo 2)

Estadística descriptiva

Se realiza la descripción de las muestras mediante estadística descriptiva, obteniendo los siguientes resultados:

PROBETAS PLA 1,5X10 MM

Inicio del Módulo-E (N) (F_{lo})

- Media: 4.3160
- Desviación estándar: .71042

Final del Módulo-E (N) (F_{hi})

- Media: 28.020
- Desviación estándar: 4.5003

Módulo de elasticidad (Mpa) (e_{mod})

- Media: 3446.00
- Desviación estándar: 470.229

Fuerza en 0,2% de deformación plástica (N)

- Media: 34.920
- Desviación estándar: 7.2329

Fuerza máxima (N) (F_{max})

- Media: 37.970
- Desviación estándar: 9.9632

Deformación en Fuerza máxima (mm) (dL en F_{max})

- Media: 2.070
- Desviación estándar: .6201

Fuerza en rotura (N) (F_{rotura})

- Media: 25.7310
- Desviación estándar: 21.27579

Deformación en rotura (mm) (dL en rotura)

- Media: 2.640
- Desviación estándar: .2319

PROBETAS PLA 2X10 MM

Inicio del Módulo-E (N) ($F_{lo\ low}$)

- Media: 10.4470
- Desviación estándar: 1.25236

Final del Módulo-E (N) ($F_{lo\ high}$)

- Media: 67.660
- Desviación estándar: 5.3961

Módulo de elasticidad (Mpa) ($e_{lo\ mod}$)

- Media: 3312.00
- Desviación estándar: 479.486

Fuerza en 0,2% de deformación plástica (N)

- Media: 73.910
- Desviación estándar: 5.6762

Fuerza máxima (N) ($F_{lo\ max}$)

- Media: 80.440
- Desviación estándar: 7.4942

Deformación en Fuerza máxima (mm) (dL en $F_{lo\ max}$)

- Media: 1.820
- Desviación estándar: .4341

Fuerza en rotura (N) ($F_{lo\ rotura}$)

- Media: 60.5700
- Desviación estándar: 31.97920

Deformación en rotura (mm) (dL en rotura)

- Media: 2.040
- Desviación estándar: .2836

Estadística inferencial

Se realiza el estudio de Normalidad de los datos mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov. Algunas medidas aceptaban hipótesis y otras rechazaban, por lo que para la comparación de los grosores de las probetas se realiza un test paramétrico: T-student y un test no paramétrico: U de Mann-Whitney. Los dos test dan los mismos resultados. Todas las pruebas se realizan con una significación del 95%.

Variable dependiente: Inicio del Módulo-E (N) (F{lo low})

Existen diferencias significativas al 95% ($p < 0,001$) entre las probetas de 1,5 mm y 2 mm.

Las de 2 mm tienen un inicio del Módulo-E a una fuerza mayor que las de 1,5 mm; con una diferencia de $10,4470 - 4,3160 = 6,131$ N.

Variable dependiente: Final del Módulo-E (N) (F{lo high})

Existen diferencias significativas al 95% ($p < 0,001$) entre las probetas de 1,5 mm y de 2 mm.

La fuerza (F) necesaria para finalizar el Módulo-E es mayor en las de 2 mm, con una diferencia de $67,660 - 28,020 = 39,64$ N.

Variable dependiente: Módulo de elasticidad (Mpa) (e{lo mod})

No existen diferencias significativas al 95% ($p < 0,536$) entre las probetas de 1,5 mm y de 2 mm.

Variable dependiente: Fuerza en 0,2% de deformación plástica (N)

Existen diferencias significativas al 95% ($p < 0,001$) entre las probetas de 1,5 mm y de 2 mm.

La F es mayor en las probetas de 2 mm, con una diferencia de $73,910 - 34,920 = 38,99$ N.

Variable dependiente: Fuerza máxima (N) (F{lo max})

Existen diferencias significativas al 95% ($p < 0,001$) entre las probetas de 1,5 mm y de 2 mm.

La F máxima es mayor en las probetas de 2 mm, con una diferencia de $80,440 - 37,970 = 42,47$ N.

Variable dependiente: Deformación en Fuerza máxima (mm) (dL en F{lo max})

No existen diferencias significativas al 95% (T de Student: $p < 0.310$; U de Mann-Whitney $p < 0.247$) entre las probetas de 1,5 mm y de 2 mm.

Variable dependiente: Fuerza en rotura (N) (F {lo rotura})

Existen diferencias significativas al 95% (T de Student: $p < 0,01$; U de Mann-Whitney $p < 0,007$) entre las probetas de 1,5 mm y de 2 mm.

La F es mayor en las probetas de 2 mm, con una diferencia de $60,5700 - 25,7310 = 34,839$ N.

Variable dependiente: Deformación en rotura (mm) (dL en rotura)

Existen diferencias significativas al 95% ($p < 0,001$) entre las probetas de 1,5 mm y de 2 mm.

Siendo mayor la deformación en las de 1,5 mm, con una diferencia de $2,640 - 2,040 = 0,6$ mm.

DISCUSIÓN

DISCUSIÓN

Hoy en día existen diversos estudios que hablan del ajuste marginal, tanto en prótesis realizadas con materiales provisionales, como en prótesis realizadas con materiales definitivos. Actualmente no se encuentran en la literatura estudios que midan ni el comportamiento elástico, ni la adaptación marginal de coronas confeccionadas con el material de este estudio, el Ácido Poliláctico. A su vez, tampoco se encuentran estudios en los que se realicen provisionales con la tecnología de este estudio, la impresión 3D.

Por lo tanto, se compararan los resultados con estudios en los que se midan el ajuste marginal o la resistencia a la flexión de prótesis realizadas con materiales provisionales.

Como se ha mencionado anteriormente, el ajuste marginal es un criterio esencial a la hora de evaluar el éxito y la calidad de una restauración^(13,14). Un ajuste marginal óptimo es esencial en las restauraciones provisionales puesto que un gran desajuste puede llevar a una inflamación del tejido periodontal, lo que puede posponer el ajuste de las restauraciones definitivas¹⁹.

Existen discrepancias que se consideran aceptables clínicamente. Hay un consenso entre autores de que una desadaptación por debajo de 120 μm es aceptable^{13,20}.

McLean y von Fraunhofer encontraron en sus estudios que discrepancias por debajo de 80 μm eran difíciles de detectar clínicamente. Son estos mismos autores los que en su estudio sobre mil restauraciones durante un periodo de cinco años, llegan a la conclusión de que un ajuste marginal de 120 μm es la apertura máxima clínicamente aceptable²⁰.

En el estudio de Anthony et al. observan la discrepancia marginal de seis materiales provisionales, resinas. Obtienen unos valores entre 180 μm en los provisionales realizados con PEMA hasta valores de 400 μm en aquellos provisionales realizados con PMMA²¹.

Otro estudio realizado en la Universidad de California sobre el ajuste marginal de siete materiales provisionales obtuvo resultados que oscilaban entre los 24 μm (Duralay) y los 122 μm (Tru-Kit)²².

Givens et al investigan los ajustes marginales de cuatro materiales provisionales realizados mediante una técnica directa: PEMA, dos materiales bis-acrílicos autocurables y un material bis-acrílico de curación dual; con unos resultados que oscilan desde 177 μm (PEMA) hasta 319 μm (resina bis-acrítica de curación dual; Luxatemp)²³.

En otro estudio in vitro en el que se comparaba el ajuste marginal de provisionales fabricados por CAD/CAM y por técnica directa se obtuvieron valores que oscilaban entre 47 μm (PEEK) y 193 μm (ProTemp), habiendo diferencias estadísticamente significativas entre los provisionales realizados con la técnica CAD/CAM y aquellos realizados mediante técnica directa, con resultados mucho más favorables en aquellos fabricados mediante CAD/CAM¹⁹.

En su estudio, Ehrenberg et al. miden el ajuste marginal de coronas provisionales fabricadas con Composite bis-acrílico y PMMA. Miden este ajuste antes y después de someter a las coronas a un tratamiento de termociclado. Los valores que se obtienen oscilan entre las 323-499 μm en las coronas fabricadas con composite bis-acrílico y 322-421 μm en las coronas fabricadas con PMMA²⁴.

Con respecto a la resistencia a la flexión y al comportamientos elástico de materiales provisionales, se encuentran pocos estudios en la literatura.

En un reciente estudio de la resistencia a la flexión sobre seis materiales provisionales, tres fabricados con PMMA y tres fabricados con composite bis-acrílico, el material Protemp exhibía la mayor resistencia a la flexión con una fuerza de 50,35 (N/mm²)²⁵.

Shruti Digholkar et al. realizan un estudio sobre la resistencia a la flexión de tres materiales provisionales, cada uno de ellos fabricado con un método diferente: técnica convencional y PMMA, CAD/CAM y PMMA e impresión 3D y resina; obteniendo valores de 104,20 MPa para el primer grupo, 95,58 MPa para el segundo y valores de 79,54 MPa para el último²⁶.

En un estudio de Poonacha et al. miden tanto el módulo de elasticidad como la resistencia a la flexión de tres materiales provisionales: Resina Fotopolimerizable, Resina Bis-Ácril y PMMA. Obtuvieron unos resultados para el módulo de elasticidad de

3545-3661 MPa en la Resina Fotopolimerizable, 3971-2159 MPa en la Resina Bis-Ácril y 1029-899 MPa en el PMMA. Con respecto a la fuerza de flexión obtuvieron valores que oscilaban entre 37,2-37 MPa en Resina Fotopolimerizable, 27,2-21,4 MPa Resina Bis-Ácril y 56,2-60 MPa en PMMA²⁷.

Scherrer et al. estudian tanto la fuerza a la flexión como la resistencia a la fatiga de siete materiales, tres de ellos definitivos (Artglass, Colombus, Targis) y cuatro de ellos provisionales (Protemp II, Protemp Garant, Provipont DC, Jet). Obtienen valores para la fuerza a la flexión de 54,2-145,2 MPa y valores para la resistencia a la fatiga de 19,6-62,1 MPa²⁸.

Haselton et al. realizaron un estudio sobre trece materiales provisionales en los que midieron la resistencia a la flexión de los mismos, obteniendo resultados que oscilaban entre 56,2-123,6 MPa²⁹.

Por último, en el estudio de Watanabe et al. miden la resistencia a la fractura de varios materiales provisionales, obteniendo los valores más altos para el PMMA, con una resistencia de 0,89 MPa³⁰.

En el presente estudio se obtienen valores del ajuste marginal de 265.965 μm con el material Ácido Poliláctico y la impresora 3D Witbox 2. Aunque es cierto que el ajuste dista de estar cerca de lo que se considera aceptable en la literatura; 120 μm , los resultados obtenidos se encuentran dentro de los parámetros que obtienen otros autores.

En cuanto a la resistencia a la flexión del material que se ha estudiado en el presente estudio, el Ácido Poliláctico, se puede afirmar que existen diferencias estadísticamente significativas entre los grosores del mismo material.

Se puede observar que tanto al inicio como al final del Módulo E, el grosor del material influye en el momento en el que el Ácido Poliláctico empieza a comportarse de forma elástica. Por lo tanto, podemos afirmar por los resultados obtenidos en el presente estudio que cuanto mayor sea el grosor, mayor tendrá que ser también la fuerza necesaria para que el material empiece a comportarse de forma elástica.

Se ha comprobado que en cuanto al propio Módulo de elasticidad no se encuentran diferencias estadísticamente significativas entre los grosores. Esto quiere decir que el material se comporta con la misma rigidez independientemente del grosor, es decir, que el material llega a la fractura de la misma forma con distintos grosores.

Con respecto a la deformación plástica también se encuentran diferencias estadísticamente significativas entre los grosores. Se observa que la fuerza necesaria para producir una deformación permanente en el material es mayor en las probetas de 2 mm, es decir, a mayor grosor, mayor es la fuerza necesaria para que se produzca una deformación permanente del material.

Durante la realización de las pruebas de la resistencia a la flexión del material se observó que dependiendo de cómo se colocase la probeta, colocándola por la cara donde se deposita la primera capa mediante la impresora 3D o por la cara donde se deposita la última capa, los resultados de la resistencia a la flexión eran diferentes.

En las probetas de 1,5X10 mm cuando se colocaba la probeta por la parte de la primera capa, las probetas se fracturaban, en cambio cuando se colocaban por la parte de la última capa las probetas no se fracturaban, simplemente se resquebrajaban. Esto se puede observar en la gráfica: las probetas 1, 2, 4, 6 y 8 rompen, mientras que las otras probetas no.

En las probetas de 2X10 mm se decidió colocar las 5 primeras probetas por la parte de la primera capa, donde se había comprobado con las probetas de 1,5X10 mm que todas rompían. Estas 5 probetas rompieron y se comportaron de la misma manera que las probetas de 1,5X10 mm. Las otras 5 probetas se colocaron de la otra forma y se comprobó que esta vez dos de las 5 probetas rompieron y otras tres únicamente se resquebrajaron.

Este comportamiento del material puede ser debido a la disposición de las capas y al enfriamiento de las mismas, proporcionando una mayor rigidez a las primeras capas.

Durante la realización de este trabajo se han encontrado ciertas limitaciones, como el tallado del muñón sobre el que se realizaron las coronas, puesto que fue realizado por

un alumno de quinto curso, en vez de por un especialista, lo que afecta a la línea de terminación y dificulta el diseño de la corona.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

- La adaptación marginal no se encuentra dentro de los límites aceptados clínicamente pero no existen estudios similares para comparar y los resultados parecen similares a los encontrados para el PMMA
- El grosor influye significativamente en la elasticidad y en la resistencia a la fractura de los materiales. Por lo tanto, a mayor grosor, el Ácido Poliláctico se comportará de manera más elástica.
- En vista de los resultados obtenidos serán necesarios más estudios tanto experimentales como clínicos.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

1. Patras M, Naka O, Doukoudakis S, Pissiotis A. Management of Provisional Restorations' Deficiencies: A Literature Review. *Journal of esthetic and restorative dentistry* 2012 ;24(1):26.
2. Velez M. Restauraciones provisionales. *Revista de la facultad de odontología, Universidad de Antioquia*; 1989.
3. Regish KM, Sharma D, Prithviraj DR. Techniques of fabrication of provisional restoration: An overview. *International Journal of Dentistry* 2011.
4. Santing HJ, Kleverlaan CJ, Werner A, Feilzer AJ, Raghoobar GM, Meijer HJA. Occlusal Wear of Provisional Implant-Supported Restorations. *Clin Implant Dent Relat Res* 2015;17(1):179.
5. 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.
6. Miyazaki T, Hotta Y. CAD/CAM systems available for the fabrication of crown and bridge restorations. *Aust Dent J* 2011;56:97.
7. Berman B. 3-D printing: The new industrial revolution. *Bus Horiz* 2012;55(2):155.
8. Dawood A, Marti BM, Sauret-Jackson V, Darwood A. 3D printing in dentistry. *Br Dent J* 2015;219(11):521.
9. Romero Barreno C, Vaca Morales G. Construcción de una impresora 3D, para la elaboración de objetos plásticos utilizando el método de modelado por deposición fundida (MDF) [tesis doctoral]. Ecuador: Escuela superior politécnica de Chimborazo, Facultad de informática y electrónica; 2015.
10. Serna C. L, Rodríguez De S. A, Albán A. F. Ácido Poliláctico (PLA): Propiedades y Aplicaciones. *Ingeniería y Competitividad* 2003;5(1):16.
11. Bowen A, Ariño B, Arlandi M, Arnáiz FJ. Regeneración ósea periimplantaria con fosfato de calcio bifásico y ácido poliláctico. *Gaceta dental: Industria y profesiones* 2014; (260):174.
12. Suárez MJ. Evaluación del sellado marginal de coronas de Titanio colado y mecanizado con dos líneas de terminación [Tesis Doctoral]. Madrid: Universidad Complutense de Madrid; 2004.
13. Conrad HJ, Seong W, Pesun IJ. Current ceramic materials and systems with clinical recommendations: A systematic review. *J Prosthet Dent* 2007;98(5):389.
14. Carlos Bernardo CP, Diana Virginia MM, Alejandro EV. Adaptación marginal y ajuste interno en estructuras de zirconia-ytria elaboradas con los sistemas CAD/CAM Procera® y Cerec in-Lab® / Marginal adaptation and internal fit of zirconia-ytria frameworks fabricated with Procera® and Cerec in-Lab® CAD/CAM systems. *Revista Facultad de Odontología Universidad de Antioquia* 2011;22(2):186.
15. Zafra M. Estudio comparativo in vitro sobre las características físicas y mecánicas de tres materiales provisionales, para su uso en prótesis dental [Tesis Doctoral]. Madrid: Universidad Complutense de Madrid; 2016.

16. Osman RB, Alharbi NM, Wismeijer D. Build angle: Does it influence the accuracy of 3D-printed dental restorations using digital light-processing technology? *Int J Prosthodont* 2017;30(2):182.
17. IBM SPSS. *SPSS Statistics 22.0 Command Syntax Reference*. SPSS Inc. 2013.
18. Ferrán Aranaz M. *SPSS para Windows : Programación y análisis estadístico. : Madrid etc.] :* McGraw-Hill, cop. 1996; 1996.
19. Adil Othman A, Effrosyni A T, Sarah P. Comparative in vitro evaluation of CAD/CAM vs conventional provisional crowns. *Journal of Applied Oral Science* 2016 -;24(3):258.
20. McLean JW, Von F. The estimation of cement film thickness by an in vivo technique. *Br Dent J* 1971;131(3):107.
21. Tjan AHL, Castelnuovo J, Shiotsu G. Marginal fidelity of crowns fabricated from six proprietary provisional materials. *J Prosthet Dent* 1997;77(5):482.
22. Koumjian JH, Holmes JB. Marginal accuracy of provisional restorative materials. *J Prosthet Dent* 1990 -;63(6):639.
23. Givens Jr. EJ, Neiva G, Yaman P, Dennison JB. Marginal adaptation and color stability of four provisional materials. *Journal of Prosthodontics* 2008;17(2):97.
24. Ehrenberg D, Weiner GI, Weiner S. Long-term effects of storage and thermal cycling on the marginal adaptation of provisional resin crowns: A pilot study. *J Prosthet Dent* 2006 -;95(3):230.
25. Singh A, Garg S. Comparative Evaluation of Flexural Strength of Provisional Crown and Bridge Materials-An Invitro Study. *Journal of Clinical & Diagnostic Research* 2016 -;10(8):72.
26. Digholkar S, Madhav VNV, Palaskar J. Evaluation of the flexural strength and microhardness of provisional crown and bridge materials fabricated by different methods. *Journal of Indian Prosthodontist Society* 2016;16(4):328.
27. In vitro comparison of flexural strength and elastic modulus of three provisional crown materials used in fixed prosthodontics. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry* 2013;5(5):212.
28. Scherrer SS, Wiskott AHW, Coto-Hunziker V, Belser UC. Monotonic flexure and fatigue strength of composites for provisional and definitive restorations. *J Prosthet Dent* 2003;89(6):579.
29. Haselton DR, Diaz-Arnold AM, Vargas MA. Flexural strength of provisional crown and fixed partial denture resins. *J Prosthet Dent* 2002;87(2):225.
30. Watanabe H, Kim E, Piskorski N, Sarsland J, Covey D, Johnson W. Mechanical properties and color stability of provisional restoration resins. *Am J Dent* 2013;26(5):265.

ANEXOS

ANEXO 1

AJUSTE MARGINAL

Frecuencias

Estadísticos

	N	Media	Error estándar de la media	Mediana	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
	Válido						
Area	15	333.9753777 8	181.2815280 5	340.6246666 7	70.21003391 3	202.343500	486.978667
Mean	15	122.8900000 0	67.25119505	128.4676666 7	26.04627584 5	51.447833	145.658500
Min	15	72.04763333	39.05214778	73.64600000	15.12483179 9	29.228333	85.760000
Max	15	169.3920111 1	86.09536359	179.7251666 7	33344.59093 5	73.824000	197.416500
Angle	15	-83.56097778	59.62962650	-89.49083333	23.09445503 6	-90.545833	-90.000
Length	15	265.9653000 0	145.0225499 7	271.2653333 3	56.16699208 6	160.679667	388.366333

ANEXO 2

ENSAYO DE FLEXIÓN

Resumen de procesamiento de casos

	Grosor	Casos					
		Válido		Perdidos		Total	
		N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
F{lo low}	1.5 mm	10	100.0%	0	0.0%	10	100.0%
	2 mm	10	100.0%	0	0.0%	10	100.0%
F{lo high}	1.5 mm	10	100.0%	0	0.0%	10	100.0%
	2 mm	10	100.0%	0	0.0%	10	100.0%
E{lo mod}	1.5 mm	10	100.0%	0	0.0%	10	100.0%
	2 mm	10	100.0%	0	0.0%	10	100.0%
F en deformación plástica 0.2%	1.5 mm	10	100.0%	0	0.0%	10	100.0%
	2 mm	10	100.0%	0	0.0%	10	100.0%
Límite superior de fluencia	1.5 mm	5	50.0%	5	50.0%	10	100.0%
	2 mm	2	20.0%	8	80.0%	10	100.0%
dL en límite superior de fluencia	1.5 mm	5	50.0%	5	50.0%	10	100.0%
	2 mm	2	20.0%	8	80.0%	10	100.0%
F{lo max}	1.5 mm	10	100.0%	0	0.0%	10	100.0%
	2 mm	10	100.0%	0	0.0%	10	100.0%

dL en F{lo max}	1.5 mm	10	100.0%	0	0.0%	10	100.0%
	2 mm	10	100.0%	0	0.0%	10	100.0%
F{lo Rotura}	1.5 mm	10	100.0%	0	0.0%	10	100.0%
	2 mm	10	100.0%	0	0.0%	10	100.0%
dL en rotura	1.5 mm	10	100.0%	0	0.0%	10	100.0%
	2 mm	10	100.0%	0	0.0%	10	100.0%
a{lo 0}	1.5 mm	10	100.0%	0	0.0%	10	100.0%
	2 mm	10	100.0%	0	0.0%	10	100.0%
b{lo 0}	1.5 mm	10	100.0%	0	0.0%	10	100.0%
	2 mm	10	100.0%	0	0.0%	10	100.0%
S{lo 0}	1.5 mm	10	100.0%	0	0.0%	10	100.0%
	2 mm	10	100.0%	0	0.0%	10	100.0%

Descriptivos

	Grosor		Estadístico	Error estándar	
F{lo low}	1.5 mm	Media	4.3160	.22465	
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	3.8078	
			Límite superior	4.8242	
		Media recortada al 5%	4.2972		
		Mediana	4.3300		
		Varianza	.505		

		Desviación estándar	.71042	
		Mínimo	3.44	
		Máximo	5.53	
		Rango	2.09	
		Rango intercuartil	1.27	
		Asimetría	.298	.687
		Curtosis	-1.106	1.334
2 mm		Media	10.4470	.39603
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	9.5511
			Límite superior	11.3429
		Media recortada al 5%	10.4444	
		Mediana	10.5500	
		Varianza	1.568	
		Desviación estándar	1.25236	
		Mínimo	8.74	
		Máximo	12.20	
		Rango	3.46	
		Rango intercuartil	2.52	
		Asimetría	-.164	.687
		Curtosis	-1.585	1.334
F{lo high}	1.5 mm	Media	28.020	1.4231
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	24.801
			Límite superior	31.239
		Media recortada al 5%	27.806	
		Mediana	28.000	

		Varianza	20.253	
		Desviación estándar	4.5003	
		Mínimo	22.8	
		Máximo	37.1	
		Rango	14.3	
		Rango intercuartil	7.0	
		Asimetría	.698	.687
		Curtosis	.269	1.334
2 mm		Media	67.660	1.7064
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite superior	63.800 71.520
		Media recortada al 5%	67.800	
		Mediana	68.700	
		Varianza	29.118	
		Desviación estándar	5.3961	
		Mínimo	59.3	
		Máximo	73.5	
		Rango	14.2	
		Rango intercuartil	10.8	
		Asimetría	-.345	.687
		Curtosis	-1.653	1.334
E{lo mod}	1.5 mm	Media	3446.00	148.700
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite superior	3109.62 3782.38
		Media recortada al 5%	3412.78	

		Mediana		3325.00	
		Varianza		221115.556	
		Desviación estándar		470.229	
		Mínimo		2920	
		Máximo		4570	
		Rango		1650	
		Rango intercuartil		548	
		Asimetría		1.575	.687
		Curtosis		3.365	1.334
	2 mm	Media		3312.00	151.627
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	2969.00	
			Límite superior	3655.00	
		Media recortada al 5%		3357.22	
		Mediana		3435.00	
		Varianza		229906.667	
		Desviación estándar		479.486	
		Mínimo		2060	
		Máximo		3750	
		Rango		1690	
		Rango intercuartil		413	
		Asimetría		-2.269	.687
		Curtosis		6.057	1.334
F en deformación plástica 0.2%	1.5 mm	Media		34.920	2.2872
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	29.746	
			Límite superior	40.094	

		Media recortada al 5%	34.828	
		Mediana	34.050	
		Varianza	52.315	
		Desviación estándar	7.2329	
		Mínimo	24.9	
		Máximo	46.6	
		Rango	21.7	
		Rango intercuartil	13.1	
		Asimetría	.131	.687
		Curtosis	-.979	1.334
	2 mm	Media	73.910	1.7950
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite superior	69.850 77.970
		Media recortada al 5%	74.011	
		Mediana	75.050	
		Varianza	32.219	
		Desviación estándar	5.6762	
		Mínimo	65.7	
		Máximo	80.3	
		Rango	14.6	
		Rango intercuartil	10.8	
		Asimetría	-.212	.687
		Curtosis	-1.989	1.334
	Límite superior de fluencia	1.5 mm	Media	29.400
			Límite inferior	24.907

	95% de intervalo de confianza para la media	Límite superior	33.893	
	Media recortada al 5%		29.433	
	Mediana		30.700	
	Varianza		13.095	
	Desviación estándar		3.6187	
	Mínimo		25.2	
	Máximo		33.0	
	Rango		7.8	
	Rango intercuartil		7.1	
	Asimetría		-.406	.913
	Curtosis		-2.945	2.000
2 mm	Media		72.750	7.0500
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	-16.829	
		Límite superior	162.329	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		72.750	
	Varianza		99.405	
	Desviación estándar		9.9702	
	Mínimo		65.7	
	Máximo		79.8	
	Rango		14.1	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		.	.
	Curtosis		.	.
1.5 mm	Media		1.500	.0775

dL en límite superior de fluencia	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	1.285		
		Límite superior	1.715		
	Media recortada al 5%		1.489		
	Mediana		1.400		
	Varianza		.030		
	Desviación estándar		.1732		
	Mínimo		1.4		
	Máximo		1.8		
	Rango		.4		
	Rango intercuartil		.3		
	Asimetría		1.925	.913	
	Curtosis		3.667	2.000	
	2 mm	Media		1.350	.0500
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	.715	
			Límite superior	1.985	
Media recortada al 5%		.			
Mediana		1.350			
Varianza		.005			
Desviación estándar		.0707			
Mínimo		1.3			
Máximo		1.4			
Rango		.1			
Rango intercuartil		.			
Asimetría		.	.		
Curtosis		.	.		

F{lo max}	1.5 mm	Media		37.970	3.1506
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	30.843	
			Límite superior	45.097	
		Media recortada al 5%		37.789	
		Mediana		36.600	
		Varianza		99.265	
		Desviación estándar		9.9632	
		Mínimo		25.2	
		Máximo		54.0	
		Rango		28.8	
		Rango intercuartil		17.7	
		Asimetría		.208	.687
		Curtosis		-1.332	1.334
		2 mm	Media		80.440
	95% de intervalo de confianza para la media		Límite inferior	75.079	
			Límite superior	85.801	
	Media recortada al 5%			80.572	
	Mediana			79.250	
	Varianza			56.163	
	Desviación estándar			7.4942	
Mínimo			65.7		
Máximo			92.8		
Rango			27.1		
Rango intercuartil			5.6		
Asimetría			-.022	.687	

		Curtosis		1.510	1.334
dL en F{lo max}	1.5 mm	Media		2.070	.1961
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	1.626	
			Límite superior	2.514	
		Media recortada al 5%		2.061	
		Mediana		2.150	
		Varianza		.385	
		Desviación estándar		.6201	
		Mínimo		1.4	
		Máximo		2.9	
		Rango		1.5	
		Rango intercuartil		1.2	
		Asimetría		-.005	.687
		Curtosis		-2.183	1.334
	2 mm	Media		1.820	.1373
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	1.509	
			Límite superior	2.131	
		Media recortada al 5%		1.822	
		Mediana		1.850	
		Varianza		.188	
		Desviación estándar		.4341	
		Mínimo		1.3	
		Máximo		2.3	
		Rango		1.0	
		Rango intercuartil		.9	

		Asimetría		-0.078	.687
		Curtosis		-2.224	1.334
F{lo Rotura}	1.5 mm	Media		25.7310	6.72800
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	10.5112	
			Límite superior	40.9508	
		Media recortada al 5%		25.3539	
		Mediana		22.3000	
		Varianza		452.659	
		Desviación estándar		21.27579	
		Mínimo		5.05	
		Máximo		53.20	
		Rango		48.15	
		Rango intercuartil		41.05	
		Asimetría		.111	.687
		Curtosis		-2.342	1.334
	2 mm	Media		60.5700	10.11271
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	37.6935	
			Límite superior	83.4465	
		Media recortada al 5%		61.5389	
		Mediana		75.3500	
		Varianza		1022.669	
		Desviación estándar		31.97920	
		Mínimo		13.10	
		Máximo		90.60	
		Rango		77.50	

		Rango intercuartil	66.15	
		Asimetría	-.924	.687
		Curtosis	-1.243	1.334
dL en rotura	1.5 mm	Media	2.640	.0733
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite superior	2.474 2.806
		Media recortada al 5%	2.633	
		Mediana	2.600	
		Varianza	.054	
		Desviación estándar	.2319	
		Mínimo	2.3	
		Máximo	3.1	
		Rango	.8	
		Rango intercuartil	.3	
		Asimetría	.660	.687
		Curtosis	.675	1.334
	2 mm	Media	2.040	.0897
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite superior	1.837 2.243
		Media recortada al 5%	2.050	
		Mediana	2.100	
		Varianza	.080	
		Desviación estándar	.2836	
		Mínimo	1.5	
		Máximo	2.4	

		Rango		.9	
		Rango intercuartil		.5	
		Asimetría		-.837	.687
		Curtosis		-.143	1.334
a{lo 0}	1.5 mm	Media		1.3410	.02900
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	1.2754	
			Límite superior	1.4066	
		Media recortada al 5%		1.3344	
		Mediana		1.3500	
		Varianza		.008	
		Desviación estándar		.09171	
		Mínimo		1.24	
		Máximo		1.56	
		Rango		.32	
		Rango intercuartil		.10	
		Asimetría		1.515	.687
		Curtosis		3.339	1.334
	2 mm	Media		1.8410	.03529
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	1.7612	
			Límite superior	1.9208	
		Media recortada al 5%		1.8306	
		Mediana		1.8200	
		Varianza		.012	
		Desviación estándar		.11160	
		Mínimo		1.74	

		Máximo		2.13	
		Rango		.39	
		Rango intercuartil		.08	
		Asimetría		2.225	.687
		Curtosis		5.756	1.334
b{lo 0}	1.5 mm	Media		10.0130	.02066
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	9.9663	
			Límite superior	10.0597	
		Media recortada al 5%		10.0100	
		Mediana		10.0100	
		Varianza		.004	
		Desviación estándar		.06533	
		Mínimo		9.93	
		Máximo		10.15	
		Rango		.22	
		Rango intercuartil		.08	
		Asimetría		.908	.687
		Curtosis		1.078	1.334
	2 mm	Media		9.9380	.02894
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	9.8725	
			Límite superior	10.0035	
		Media recortada al 5%		9.9278	
		Mediana		9.9200	
		Varianza		.008	
		Desviación estándar		.09151	

		Mínimo		9.87	
		Máximo		10.19	
		Rango		.32	
		Rango intercuartil		.04	
		Asimetría		2.784	.687
		Curtosis		8.331	1.334
S{lo 0}	1.5 mm	Media		13.4250	.27726
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	12.7978	
			Límite superior	14.0522	
		Media recortada al 5%		13.3650	
		Mediana		13.5200	
		Varianza		.769	
		Desviación estándar		.87678	
		Mínimo		12.42	
		Máximo		15.51	
		Rango		3.09	
		Rango intercuartil		.97	
		Asimetría		1.473	.687
		Curtosis		3.272	1.334
	2 mm	Media		18.2950	.35240
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	17.4978	
			Límite superior	19.0922	
		Media recortada al 5%		18.1967	
		Mediana		18.0700	
		Varianza		1.242	

Desviación estándar	1.11439	
Mínimo	17.27	
Máximo	21.09	
Rango	3.82	
Rango intercuartil	1.18	
Asimetría	1.973	.687
Curtosis	4.643	1.334

Pruebas de normalidad

	Grosor	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
F{lo low}	1.5 mm	.162	10	.200	.940	10	.553
	2 mm	.177	10	.200	.915	10	.319
F{lo high}	1.5 mm	.131	10	.200	.927	10	.418
	2 mm	.188	10	.200	.891	10	.173
E{lo mod}	1.5 mm	.202	10	.200	.865	10	.087
	2 mm	.316	10	.006	.739	10	.003
F en deformación plástica 0.2%	1.5 mm	.129	10	.200	.962	10	.805
	2 mm	.259	10	.056	.862	10	.080
Límite superior de fluencia	1.5 mm	.240	5	.200	.858	5	.222
	2 mm	.260	2	.			
dL en límite superior de fluencia	1.5 mm	.318	5	.109	.701	5	.010

	2 mm	.260	2	.			
F{lo max}	1.5 mm	.191	10	.200	.938	10	.527
	2 mm	.267	10	.041	.849	10	.057
dL en F{lo max}	1.5 mm	.256	10	.062	.811	10	.020
	2 mm	.241	10	.105	.821	10	.026
F{lo Rotura}	1.5 mm	.316	10	.006	.769	10	.006
	2 mm	.355	10	.001	.741	10	.003
dL en rotura	1.5 mm	.198	10	.200	.951	10	.686
	2 mm	.284	10	.022	.910	10	.282
a{lo 0}	1.5 mm	.276	10	.030	.833	10	.036
	2 mm	.275	10	.031	.748	10	.003
b{lo 0}	1.5 mm	.197	10	.200	.936	10	.510
	2 mm	.391	10	.000	.609	10	.000
S{lo 0}	1.5 mm	.273	10	.034	.844	10	.049
	2 mm	.280	10	.025	.788	10	.010

. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Prueba T

Estadísticas de grupo

	Grosor	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
F{lo low}	1.5 mm	10	4.3160	.71042	.22465
	2 mm	10	10.4470	1.25236	.39603
F{lo high}	1.5 mm	10	28.020	4.5003	1.4231
	2 mm	10	67.660	5.3961	1.7064
E{lo mod}	1.5 mm	10	3446.00	470.229	148.700
	2 mm	10	3312.00	479.486	151.627
F en deformación plástica 0.2%	1.5 mm	10	34.920	7.2329	2.2872
	2 mm	10	73.910	5.6762	1.7950
Límite superior de fluencia	1.5 mm	5	29.400	3.6187	1.6183
	2 mm	2	72.750	9.9702	7.0500
dL en límite superior de fluencia	1.5 mm	5	1.500	.1732	.0775
	2 mm	2	1.350	.0707	.0500
F{lo max}	1.5 mm	10	37.970	9.9632	3.1506
	2 mm	10	80.440	7.4942	2.3699
dL en F{lo max}	1.5 mm	10	2.070	.6201	.1961
	2 mm	10	1.820	.4341	.1373
F{lo Rotura}	1.5 mm	10	25.7310	21.27579	6.72800
	2 mm	10	60.5700	31.97920	10.11271
dL en rotura	1.5 mm	10	2.640	.2319	.0733
	2 mm	10	2.040	.2836	.0897
a{lo 0}	1.5 mm	10	1.3410	.09171	.02900
	2 mm	10	1.8410	.11160	.03529
b{lo 0}	1.5 mm	10	10.0130	.06533	.02066
	2 mm	10	9.9380	.09151	.02894

S{lo 0}	1.5 mm	10	13.4250	.87678	.27726
	2 mm	10	18.2950	1.11439	.35240

Prueba de muestras independientes

		Prueba de Levene de calidad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
F(lo low)	Se asumen varianzas iguales	5.662	.029	-13.465	18	.000	-6.13100	.45531	-7.08758	-5.17442
	No se asumen varianzas iguales			-13.465	14.249	.000	-6.13100	.45531	-7.10595	-5.15605
F(lo high)	Se asumen varianzas iguales	1.097	.309	-17.840	18	.000	-39.6400	2.2220	-44.3082	-34.9718
	No se asumen varianzas iguales			-17.840	17.438	.000	-39.6400	2.2220	-44.3190	-34.9610
E(lo mod)	Se asumen varianzas iguales	.034	.856	.631	18	.536	134.000	212.373	-312.179	580.179
	No se asumen varianzas iguales			.631	17.993	.536	134.000	212.373	-312.191	580.191
F en deformación plástica 0.2%	Se asumen varianzas iguales	.270	.610	-13.410	18	.000	-38.9900	2.9075	-45.0984	-32.8816
	No se asumen varianzas iguales			-13.410	17.037	.000	-38.9900	2.9075	-45.1232	-32.8568

Limite superior de fluencia	Se asumen varianzas iguales	22.752	.005	-9.404	5	.000	-43.3500	4.6098	-55.1998	-31.5002
	No se asumen varianzas iguales			-5.993	1.107	.089	-43.3500	7.2334	-116.6543	29.9543
dL en limite superior de fluencia	Se asumen varianzas iguales	.729	.432	1.134	5	.308	.1500	.1323	-.1901	.4901
	No se asumen varianzas iguales			1.627	4.738	.168	.1500	.0922	-.0910	.3910
F(lo max)	Se asumen varianzas iguales	2.951	.103	-10.773	18	.000	-42.4700	3.9424	-50.7527	-34.1873
	No se asumen varianzas iguales			-10.773	16.715	.000	-42.4700	3.9424	-50.7986	-34.1414
dL en F(lo max)	Se asumen varianzas iguales	8.445	.009	1.044	18	.310	.2500	.2394	-.2529	.7529
	No se asumen varianzas iguales			1.044	16.113	.312	.2500	.2394	-.2572	.7572
F(lo Rotura)	Se asumen varianzas iguales	2.807	.111	-2.868	18	.010	-34.83900	12.14631	-60.35745	-9.32055
	No se asumen varianzas iguales			-2.868	15.662	.011	-34.83900	12.14631	-60.63326	-9.04474
dL en rotura	Se asumen varianzas iguales	.666	.425	5.179	18	.000	.6000	.1159	.3566	.8434
	No se asumen varianzas iguales			5.179	17.316	.000	.6000	.1159	.3559	.8441
a(lo 0)	Se asumen varianzas iguales	.068	.797	-10.946	18	.000	-.50000	.04568	-.59597	-.40403
	No se asumen varianzas iguales			-10.946	17.348	.000	-.50000	.04568	-.59622	-.40378
b(lo 0)	Se asumen varianzas iguales	.020	.890	2.109	18	.049	.07500	.03555	.00030	.14970
	No se asumen varianzas iguales			2.109	16.283	.051	.07500	.03555	-.00027	.15027

S{lo 0}	Se asumen varianzas iguales	.283	.601	-10.861	18	.000	-4.87000	.44840	-5.81205	-3.92795
	No se asumen varianzas iguales			-10.861	17.056	.000	-4.87000	.44840	-5.81580	-3.92420

Pruebas no paramétricas

Resumen de contrastes de hipótesis

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La distribución de F{lo low} es la misma entre las categorías de Grosor.	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	.000 ¹	Rechace la hipótesis nula.
2	La distribución de F{lo high} es la misma entre las categorías de Grosor.	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	.000 ¹	Rechace la hipótesis nula.
3	La distribución de E{lo mod} es la misma entre las categorías de Grosor.	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	1.000 ¹	Conserve la hipótesis nula.
4	La distribución de F en deformación plástica 0.2% es la misma entre las categorías de Grosor.	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	.000 ¹	Rechace la hipótesis nula.
5	La distribución de Límite superior de fluencia es la misma entre las categorías de Grosor.	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	.095 ¹	Conserve la hipótesis nula.
6	La distribución de dL en límite superior de fluencia es la misma entre las categorías de Grosor.	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	.190 ¹	Conserve la hipótesis nula.
7	La distribución de F{lo max} es la misma entre las categorías de Grosor.	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	.000 ¹	Rechace la hipótesis nula.
8	La distribución de dL en F{lo max} es la misma entre las categorías de Grosor.	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	.247 ¹	Conserve la hipótesis nula.
9	La distribución de F{lo Rotura} es la misma entre las categorías de Grosor.	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	.007 ¹	Rechace la hipótesis nula.
10	La distribución de dL en rotura es la misma entre las categorías de Grosor.	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	.000 ¹	Rechace la hipótesis nula.
11	La distribución de a{lo 0} es la misma entre las categorías de Grosor.	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	.000 ¹	Rechace la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significancia es .05.

¹Se muestra la significación exacta para esta prueba.

Resumen de contrastes de hipótesis

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
12	La distribución de $b\{lo\ 0\}$ es la misma entre las categorías de Grosor.	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	.004 ¹	Rechace la hipótesis nula.
13	La distribución de $S\{lo\ 0\}$ es la misma entre las categorías de Grosor.	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	.000 ¹	Rechace la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significancia es .05

¹Se muestra la significación exacta para esta prueba.

ANEXO 3

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS WITBOX 2

- VELOCIDAD DE IMPRESIÓN

Máxima: hasta 200 mm/s*

*Sujeto a materiales, perfiles y software empleado.

- CONDICIONES DE TRABAJO

Temperaturas de funcionamiento óptimo entre 15 °C y 25 °C.

- RESOLUCIÓN

Resolución: hasta 20 micras

- DIMENSIONES

Impresora con bobina PLA: (x)508,06 x (y)485,08 x (z)461 mm

Impresora sin bobina PLA: (x)508,06 x (y)393,38 x (z)461 mm

Caja exterior: (x)610 x (y)510 x (z)709 mm

Volumen de impresión: (x)297 x (y)210 x (z)200 mm

- MATERIALES

Filamentos 1,75 mm de diámetro: PLA, madera, bronce, cobre y Filaflex.

- MECÁNICA EXTRUSOR

Extrusor de diseño propio con Double Drive Gear, ajuste de tracción y guiado de filamento para máxima compatibilidad con filamentos flexibles/blandos.

Hot-End diseñado para un fácil mantenimiento

Boquilla de 0,4 mm para filamento de 1,75 mm

Disipador de aletas con ventilador axial controlado por Firmware

Tobera de refrigeración impresa

- MECÁNICA GENERAL

Bastidor de acero pintado al polvo

Barras de cromo duro en los ejes X e Y

Rodamientos lineales en los ejes X e Y

Husillo de 4 entradas con acoplamiento directo a motor en el eje Z

Railes y patines de recirculación de bolas en el eje Z

Partes móviles y soportes en acero pintado al polvo

Base fría de cristal tamaño A4 (305 x 220 mm)

Sistema de nivelado de base de impresión con 3 puntos y amortiguación

Sistema de cambio rápido de base de impresión con imanes de neodimio

- ELECTRÓNICA

Controladora BQ Zum CNC
BQ Zum Inductive Sensor para asistencia en la nivelación de la cama
BQ Zum LCD Smart Controller
Fuente de alimentación 12V 150W
Termistor 100k en el Hot-End
Cartucho calefactor 12V 40W
Cableado optimizado mediante fajas

- SOFTWARE

Firmware derivado de Marlin diseñado por BQ
Nuevas funcionalidades: auto nivelación, nivelación manual mediante sensor inductivo diseñado exclusivamente para impresión 3D, modo de inactividad
Interfaz de usuario mejorada
Entorno recomendado: Cura Software, Slic3r.
Archivos admitidos: .gcode
Sistemas Operativos compatibles: Windows XP y superiores, Linux y Mac OS X y superiores

- COMUNICACIONES

Lector de tarjetas SD estándar
Puerto USB tipo B

- CONTENIDO DE LA CAJA

Impresora 3D Witbox 2
Guía rápida y Garantía
Base fría de impresión
Un juego de dos llaves
Dos paneles laterales y uno superior
Cable USB
Cable de alimentación europeo
Cable alimentación UK
Bobina de filamento PLA de 1,75 mm de diámetro
Soporte metálico para bobina
Tarjeta SD 4 GB (con modelos 3D de ejemplo precargados)
Pieza impresa de prueba
Cuatro patas de soporte para la impresora
5 tubos PTFE

Dos agujas para limpieza

Espátula

Cepillo de cerdas metálicas para limpieza

Llaves Allen de 1,5, de 2, de 2,5 y de 4 mm

Inmovilizador del carro para transporte

- OTROS

Apilable

Puerta con cerradura de seguridad

Sistema de alimentación trasero inspirado en la curva de Fibonacci

- PESO

Producto más caja: ~34Kg

- LICENCIA

Creative Commons - Attribution - Share Alike