

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



**ESTUDIO DEL PMMA Y LA RESINA  
ACETÁLICA PARA PUENTES  
IMPLANTOSOPORTADOS CONFECCIONADOS  
POR CAD/CAM COMO ALTERNATIVA A LOS  
MATERIALES TRADICIONALES: ENSAYO  
CLÍNICO E “IN VITRO”**

**TRABAJO DE FIN DE MÁSTER**

**TUTOR: Jaime del Río Highsmith**

**Isabel Cervera del Río**

**ÍNDICE**

I.	Introducción.....	págs. 3-6
II.	Justificación.....	pág. 7
III.	Objetivos.....	pág.8
IV.	Diseño del estudio.....	pág. 9
V.	Material y método.....	págs. 10-16
VI.	Resultados.....	págs. 17-21
VII.	Análisis de los resultados.....	págs. 22-27
VIII.	Discusión.....	págs. 28-31
IX.	Conclusiones.....	pág. 32
X.	Bibliografía.....	págs. 32-33

## INTRODUCCIÓN

### TECNOLOGÍA CAD/CAM

Las siglas CAD/CAM corresponden a la forma abreviada en la que nos referimos a “ComputerAidedDesign” y “ComputerAidedManufacturing”. Es decir, CAD correspondería a la fase del diseño de la restauración, mientras que CAM sería la fabricación de la misma.

En los últimos años, los métodos de colado tradicional para las estructuras internas de las restauraciones protésicas, están siendo sustituidos por los nuevos sistemas CAD/CAM, que nos permiten controlar los diseños de pilares y estructuras, ajustándonos a las necesidades de cada caso. (1)

Todos los sistemas CAD/CAM están basados en tres componentes: (2)

1. Un escáner, bien sea intra o extraoral, que transforme un modelo o la propia boca del paciente, en un archivo digital que será procesado por el ordenador.
2. Un software que procese ese archivo y permita el diseño digital de la restauración.
3. Una tecnología de producción que transforme ese diseño digital en el producto final deseado.

De esta manera, el proceso de fabricación de una restauración por CAD/CAM, en contraposición con la técnica tradicional, se podría resumir en el siguiente esquema (3,4): Impresión (convencional o digital); Modelo (físico o digital); diseño por ordenador; fresado o sinterizado de la estructura; recubrimiento o blindaje.

Por tanto, la principal ventaja de la aplicación de los sistemas CAD/CAM para la confección de nuestras restauraciones, radica en la capacidad de realizar procesos de producción estandarizados (4).

Es esta característica la que está permitiendo el desarrollo de estas técnicas en detrimento de las convencionales; la buena adaptación de las estructuras, y la homogeneidad del material empleado hacen de la tecnología digital la alternativa moderna del colado. (4)

Además la tecnología CAD/CAM permite el empleo de cualquier material, biocompatible, para la confección de nuestras restauraciones con lo que las posibles propiedades biomecánicas se multiplican, no teniendo que depender de intervalos de fusión, atmosferas inertes para colado, etc. que limitan las restauraciones coladas convencionales.

El empleo de plásticos en implanto-prótesis se centra habitualmente en la confección de restauraciones provisionales implanto-soportadas para carga progresiva, e inmediata; y es el material de elección de las restauraciones implanto-retenidas (sobre-dentaduras); en el caso de las implanto-soportadas (fijas) las ventajas del empleo del plástico en su confección proporcionarían además una mayor elasticidad, absorción de fuerzas, menos abrasión y dureza que la cerámica, peso, capacidad de reparación clínica, coste...

Pero es necesario estudiar su comportamiento bajo función masticatoria y es por ello que diseñamos este estudio, en equipo, donde pretendemos evaluar “in vitro” e “in vivo” propiedades fundamentales para este fin. En este sentido, encontramos de vital importancia conocer el ajuste marginal que nos pueden proporcionar estos materiales, sobre todo si se van a mantener largos periodos en boca, para evitar el acúmulo de placa

cerca de los márgenes gingivales. Esta placa puede iniciar procesos inflamatorios que podrían llevar al deterioro de tejidos blandos y problemas periodontales. (5)

Los materiales plásticos más comúnmente utilizados para la confección de provisionales son el Polimetil metacrilato (PMMA), el Polietil metacrilato (PEMA), el Polivinil-etil metacrilato, el composite bis-ácrid y el uretano dimetacrilato polimerizado con luz visible (PLV) (6,7). Sin embargo, gracias a la tecnología CAD/CAM, obtenemos una mejora en las propiedades de los mismos, que nos permiten plantearnos su uso a medio/largo plazo. En este caso, los materiales estudiados serán el Polimetil Metacrilato (PMMA) y la Resina Acetálica (Acetal).

### PMMA

El PMMA se caracteriza por tener un buen ajuste marginal, una buena resistencia transversal, un buen pulido y una durabilidad aceptable. Entre las desventajas encontramos el gran aumento del calor exotérmico, la baja resistencia a la abrasión, la alta contracción volumétrica y la toxicidad pulpar del monómero libre (6).

No obstante, estas desventajas son aplicables al uso del PMMA como material provisional con técnica directa. En nuestro caso, nos proponemos mejorar todas estas propiedades gracias al uso de los sistemas digitales y mecánicos, tanto para el diseño, como para la confección de nuestras restauraciones. Por tanto, teniendo en cuenta que estos materiales son sometidos a un proceso industrial, estas restauraciones provisionales pueden considerarse superiores a las realizadas con técnica directa (8).

Esta superioridad se traduce en las diferentes propiedades físico-químicas que presenta el material y, por tanto, el tiempo que podemos mantener las restauraciones en boca, siendo éste considerablemente mayor. Edelhoff et al. explican que entre las ventajas que podemos obtener del uso de este tipo de restauraciones durante largos

periodos de tiempo, se encuentran el poder evaluar correctamente tanto la estética, como la función masticatoria y la fonética, antes de proceder a la rehabilitación definitiva (10).

### RESINA ACETÁLICA

La resina acetálica es un material que ha sido ampliamente utilizado en el campo médico, por ejemplo, para la confección de válvulas cardíacas o en las prótesis de cadera (9).

En el ámbito dental, el uso más extendido de este material se encuentra en la Prótesis Parcial Removible (PPR). Concretamente, se ha empleado en la confección de los componentes, tanto de retención, como de soporte, para mejorar la estética de las prótesis (10). Asimismo, puede ser una alternativa al Cr-Co en aquellos pacientes que presentan reacciones alérgicas a esta aleación (9).

El uso de la Resina Acetálica para la confección de restauraciones provisionales no está muy extendido, y es por eso que queremos estudiarlo en profundidad como una alternativa eficaz. El uso de este material en el campo de las PPRs está justificado por la alta resistencia a la fractura y la estabilidad cromática que presenta. Son estas propiedades, entre otras, las que queremos aprovechar para buscar una alternativa en la elaboración de este tipo de restauraciones. Dependiendo de los resultados obtenidos, nos podríamos plantear su uso a mayor largo plazo, retrasando al máximo la colocación de las restauraciones definitivas o, incluso, sustituyéndolas.

## JUSTIFICACIÓN

Gracias a la posibilidad de confeccionar restauraciones con sistemas CAD/CAM, nos encontramos ante una mejora notable en la variedad de los materiales a emplear y sus propiedades físico-químicas. Esta mejora nos permite plantearnos el uso de las mismas a largo plazo y, por tanto, beneficiarnos de todas las ventajas que obtenemos de los materiales plásticos, como pueden ser el bajo coste, dureza, abrasión, reparación, elasticidad, etc. 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

1. Evaluar la adaptación marginal vertical microscópica sobre un modelo de escayola en el momento de la elaboración de la restauración (precarga).
2. Evaluar la resistencia a la flexión “in vitro” sobre probetas realizadas en PMMA y Resina Acetálica por tecnología digital.
3. Realizar una comparación entre los dos materiales estudiados, determinando cuál de ellos presenta las mejores propiedades, tanto de ajuste marginal inicial, como de resistencia a la flexión.
4. Realizar una comparación entre los distintos grosores de las probetas, determinando si este factor influye en las propiedades de flexión de los materiales.

## **DISEÑO DEL ESTUDIO**


El estudio a realizar forma parte de una investigación más amplia que constará de una parte “in vivo” consistente en un ensayo clínico prospectivo en el que se confeccionará un puente implantosoportado por sistema CAD/CAM de sendos materiales a cada paciente, y se evaluarán todos los parámetros clínicos (criterios CDA, abrasión, estabilidad cromática). Los pacientes llevarán las restauraciones durante un periodo de seis meses por cada material; y una parte “in vitro” correspondiente a los ensayos de flexión sobre probetas y el estudio de la adaptación marginal total de las restauraciones sobre modelos de escayola. Esta última parte será la desarrollada en el presente estudio. En colaboración con el mismo, y como parte de la investigación, se realizarán además estudios “in vitro” de la abrasión, la estabilidad cromática y la dureza superficial de los materiales.

El proyecto está financiado a través de un artículo 83 por la casa comercial GT Medical S.A., y apoyado por la empresa Euroortodoncia S.L.

El proyecto está autorizado por el comité de ensayos clínicos del Hospital clínico de San Carlos, Madrid. (Anexo 1)

## MATERIAL Y MÉTODO

Ambos ensayos, adaptación marginal y flexión, se llevan a cabo en el Departamento de Ingeniería de la empresa Euroortodoncia S.L.



**Chemical Composition of PMMA Block.**

Material Composition		Proportion	Origin
Powder	Polymethylmethacrylate (PMMA)	65.939%	Britain . Japan
Liquid	Methyl methacrylate (MMA) 95%	34.000%	
	Ethyleneglycol Dimethacrylate (EDMA) 5%		
Pigments	Yellow - FeOOH	0.030%	China, USA
	Black - Fe3O4	0.002%	
	White - TiO2	0.022%	
	Red - Fe2O3	0.007%	

GT MEDICAL, S.L.

Como se ha mencionado anteriormente, los materiales empleados serán el PMMA y el Acetal, La composición del PMMA queda detallada en la tabla. Sin embargo, la empresa GT no nos ha proporcionado la composición del Acetal, por lo que no podremos incluirla.

### ADAPTACIÓN MARGINAL

Para realizar las pruebas de adaptación marginal se procede previamente a una parte clínica de selección de pacientes, mediante muestreo no probabilístico de casos consecutivos. Se emplea una muestra de 30 pacientes y 60 puentes implantoportados confeccionados por CAD/CAM (30 de PMMA y 30 de Acetal).

Criterios de inclusión de la muestra:

- Pacientes que acudan al servicio de Implantoprótesis y de Clínica Odontológica Integrada de la Facultad de odontología de la UCM.
- Pacientes parcial o totalmente edéntulos cuya arcada antagonista sea dentición natural.
- Pacientes que consientan, y colaboradores. Todos los pacientes incluidos en el estudio deberán firmar un consentimiento informado aprobado por el comité ético de la Facultad de odontología de la Universidad Complutense de Madrid.

Criterios de exclusión:

- Pacientes con bruxismo severo.
- Pacientes >70 años.
- Pacientes con enfermedad periodontal activa.

Tras la toma de impresiones, obtención del modelo de escayola, escaneado, diseño y fresado, se procede a la medición de la adaptación marginal sobre el modelo.

Tradicionalmente, existen dos métodos diferentes para medir el ajuste marginal: aquellos en los que es necesario seccionar las muestras para poder medir con el microscopio el ajuste de manera interna; o bien, protocolos en los que tan sólo obtenemos los valores de discrepancia marginal externa mediante el visionado directo por microscopio, sin necesidad de seccionar las muestras. (11). Debido a que no realizamos réplicas, si no que las mismas restauraciones que medimos serán utilizadas para colocar en boca, utilizaremos el segundo método de medición, aceptando que sólo podremos medir la discrepancia marginal vertical externa de las restauraciones.

Qualtroug et al. resumen diferentes sistemas de imagen para medir el ajuste marginal, en la siguiente tabla: (12)

A. J. E. QUALTROUGH AND V. PIDDOCK

Table 1. Examples of marginal fit data for crowns.

Method of assessment	Restoration type	Marginal fitting accuracy ( $\mu\text{m}$ )	Reference
SEM photomicrographs ( $\times 150$ )	Ceramometal crowns—shoulder bevel PJs	23 $\pm$ 7 76 $\pm$ 21	25
SEM photomicrographs ( $\times 80$ )	Ceramometal crowns—porcelain margin, direct lift PJs	72 18	27
Optical microscopy of sections	Ceramometal crowns Dicor crowns Cerestore crowns	50 80 75	29
Optical microscopy	High-copper alloy copings	28–76	30
SEM photomicrographs ( $\times 170$ )	Ceramometal crowns	30–45	31

Para realizar las mediciones, se utilizará el protocolo empleado por Anthony et al, la discrepancia marginal se determinará entre el margen de la corona y la línea de terminación del implante (13).

Las mediciones se realizarán en la empresa Euroortodoncia S.L. y se utilizará el microscopio óptico Edmund Optics 3 1.0x40 mm de EO.



Fig. 1. Microscopio óptico

<b>Working Distance:</b>		<b>44mm</b>	
<b>Primary Magnification:</b>	1X	1.5X	2X
<b>Field of View 1/2" Sensor (mm):</b>	6.4	4.3	3.2
<b>Object Resolution (lp/mm):</b>	90	135	195
<b>Overall Length (mm):</b>	53.2	78.0	102.0
<b>Tube Length (mm):</b>	48.2	73	73
<b>Weight (oz):</b>	0.7	0.8	1.5
<b>Stock No.</b>	#54-677	#54-678	#55-355

Fig. 2. Especificaciones técnicas del microscopio (1.0x44mm)

Se realiza una marca en vestibular y otra en lingual/palatino, por cada implante, en la zona más cercana al margen de la restauración.



**Fig.1. Marcas**

Se coloca el modelo sobre una base metálica con plataforma giratoria, que permite posicionar el mismo según corresponda para visualizar correctamente la imagen, manteniéndolo siempre perpendicular al plano del suelo.



**Fig. 2. Modelo posicionado sobre la base metálica**

Con el modelo posicionado, se fotografía el margen de la preparación en el punto que hemos marcado para su posterior medición. De esta manera, se obtiene la siguiente imagen:



**Fig. 3. Fotografía captada por el microscopio**

Una vez obtenidas las imágenes, se procede a la calibración de las mismas y medición de la discrepancia en micras con el programa informático ImageJ. Se mide cada punto marcado y se realiza la media aritmética de los valores obtenidos.

RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

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

La empresa GT nos proporciona 40 probetas fabricadas por CAD/CAM, con un ancho de 10mm y espesores de 1,5 y 2mm:

- PMMA 2x10mm (10)
- PMMA 1,5X10mm (10)
- Acetal 2x10mm (10)
- Acetal 1,5x10mm (10)

Se utiliza 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. La máquina consta de una célula de carga, encargada de medir la presión y la tracción; y un motor, encargado de situar la célula a la distancia adecuada.

Célula de carga:

- Tipo: KAF-TC.
- Fuerza maxima: 2,5 KN.
- Nº serie: 07-4239.
- Fecha fabricación: 2007.
- Fecha calibración: 21-02-12.



**Fig.5. Máquina Universal de Ensayos**



**Fig.4. Célula de carga**

Para el ensayo se utiliza una precarga de 0,2N, una velocidad del módulo-E de 1mm/min y una velocidad de ensayo de 1mm/min, de acuerdo a lo estipulado en la norma.

Todos los ensayos se realizan en condiciones ambientales:  $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ . Todos los instrumentos utilizados están calibrados.

Para el ensayo se construye un juego de apoyos estandarizado según la norma UNE-EN ISO 178.

Respecto a la distancia entre apoyos, se usa siempre la distancia de 24 mm. En la norma se especifica una distancia entre apoyos que es diferente para las muestras de 2 mm (32 mm) y las de 1,5 mm (24 mm). Pero, debido a que la longitud de la muestra es menor, se ha utilizado la misma distancia (24 mm) para los dos tipos de probetas.

Se coloca la probeta en los apoyos y se comienza el ensayo, aplicando los parámetros de fuerza y velocidad anteriormente mencionados. A la velocidad de 1mm/min, se va aplicando una fuerza constante que comienza a producir en el material las deformaciones elásticas y posteriormente plásticas, correspondientes, hasta la fractura del mismo, o no. La deformación máxima se fija en 5mm. Si a esta deformación el material no se fracturase, la aumentaríamos.

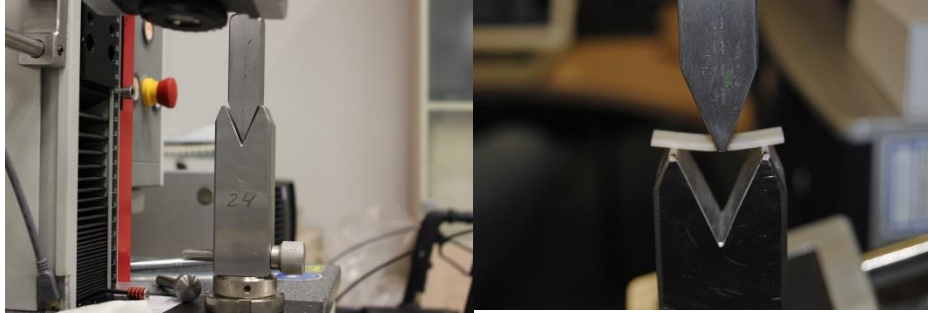


Fig. 6. Utillaje de la máquina de ensayos

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)

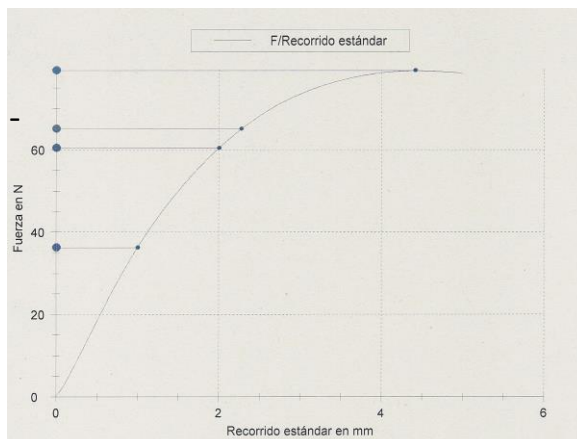


Fig.7. Curva de tension-deformación

**RESULTADOS**ADAPTACIÓN MARGINAL (μm)

## PMMA

Muestra	
1	170
	253
	3
	0
2	2
	0
	0
	0
3	79
	0
	0
	0
4	125
	189
	112
	162
	70
	62
5	142
	38
	109
	0
	176
	133
6	20
	0
	43
	0
	46
	26
7	104
	65
	0
	0
8	2
	0
	0
	0
9	78
	139
	0
	47

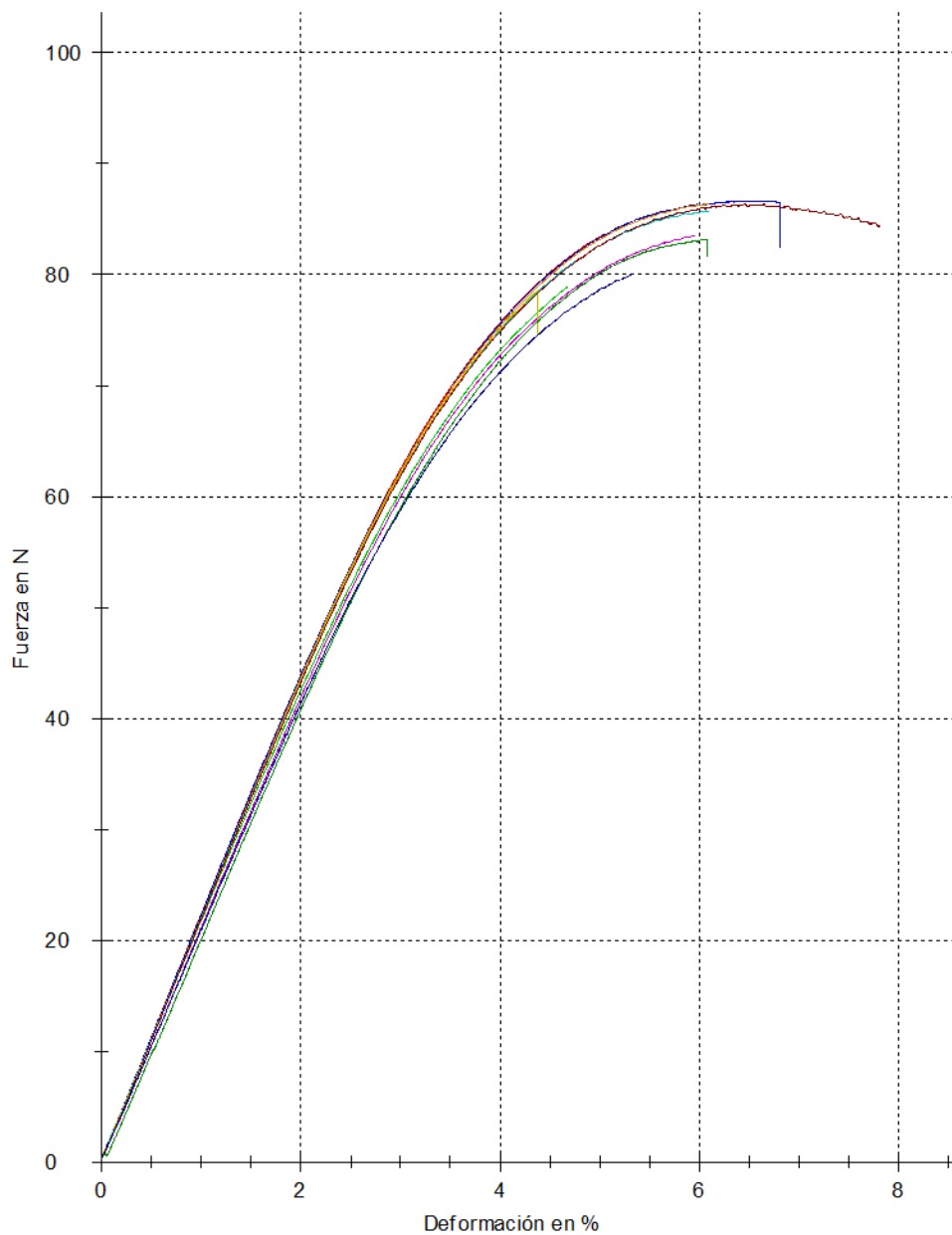
## ACETAL

Muestra	
1	219
	163
	81
	34
2	2
	0
	0
	0
3	110
	46
	53
	32
4	5
	8
	0
	5
	3
	0
5	251
	66
	59
	89
	59
	53
6	7
	3
	36
	200
	153
	187
7	4
	125
	129
	176
8	4
	3
	8
	0
9	176
	247
	165
	0

ENSAYO DE FLEXIÓN

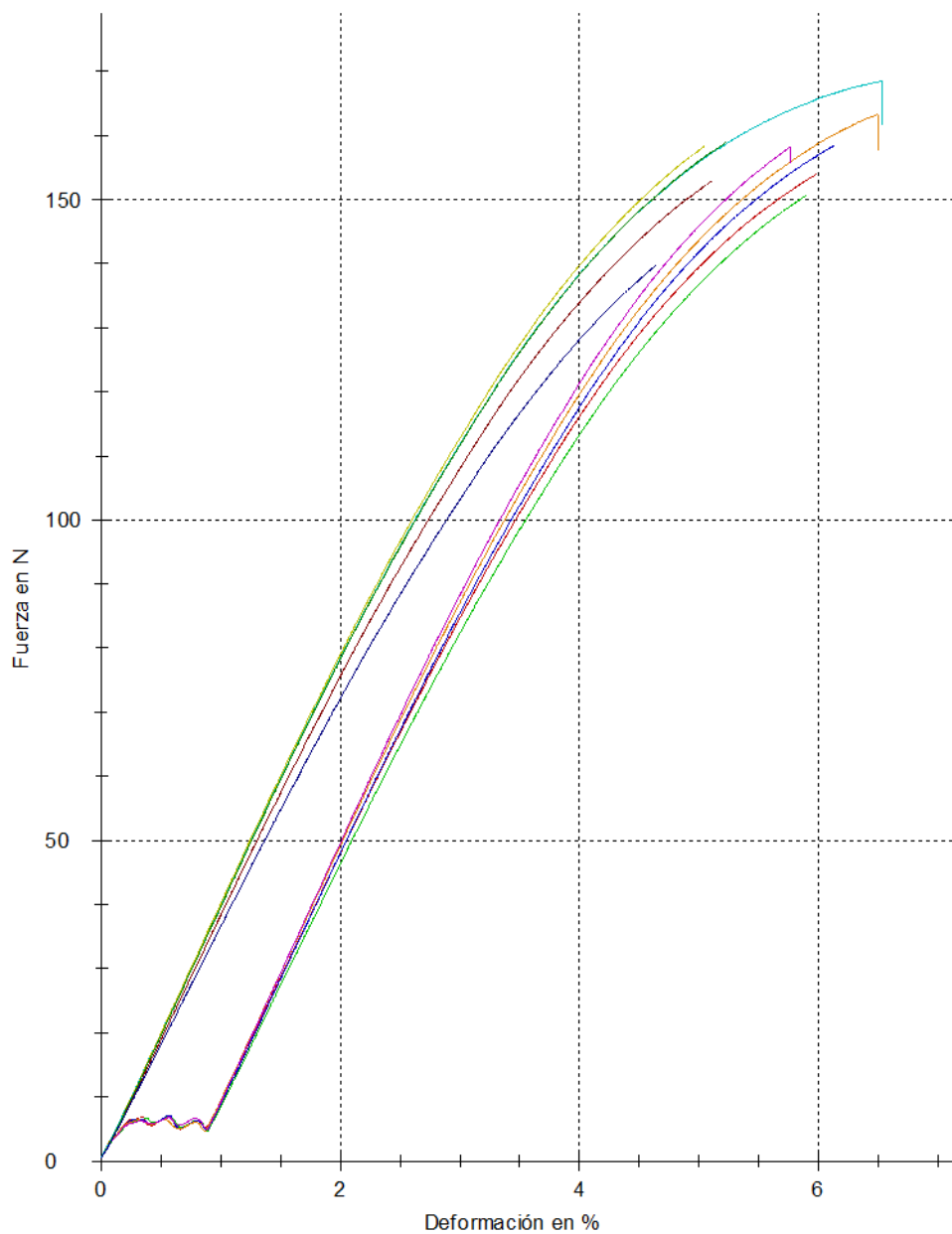
## PROBETAS PMMA 1,5X10mm

Nr	F{lo low}	F{lo high}	E{lo mod}	F en deform:	Límite super	dL en límite	F{lo max}	dL en F{lo m:	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 <sup>2</sup>
1	34,6	64,4	3080	71,8	-	-	83,6	3,2	83,6	3,2	1,5	10	15
2	33,6	62,3	2960	69,6	-	-	78,8	3	78,8	3	1,5	10	15
3	34,6	64,2	3050	71,8	-	-	86,6	4,2	82,4	4,4	1,5	10	15
4	34,3	64,2	3090	71,5	-	-	86,4	3,9	86,3	3,9	1,5	10	15
5	32,9	61,8	2990	69	-	-	83,6	3,8	83,5	3,8	1,5	10	15
6	34,2	63,9	3060	71,1	-	-	85,8	3,9	85,7	3,9	1,5	10	15
7	34,2	64	3080	71,2	-	-	78,5	2,8	74,6	2,8	1,5	10	15
8	34,1	63,8	3070	71,1	-	-	86,3	4,1	-	-	1,5	10	15
9	31,8	60,9	3000	68,8	-	-	83,2	3,9	81,6	3,9	1,5	10	15
10	32,6	60,6	2890	67,6	-	-	80,1	3,4	80	3,4	1,5	10	15



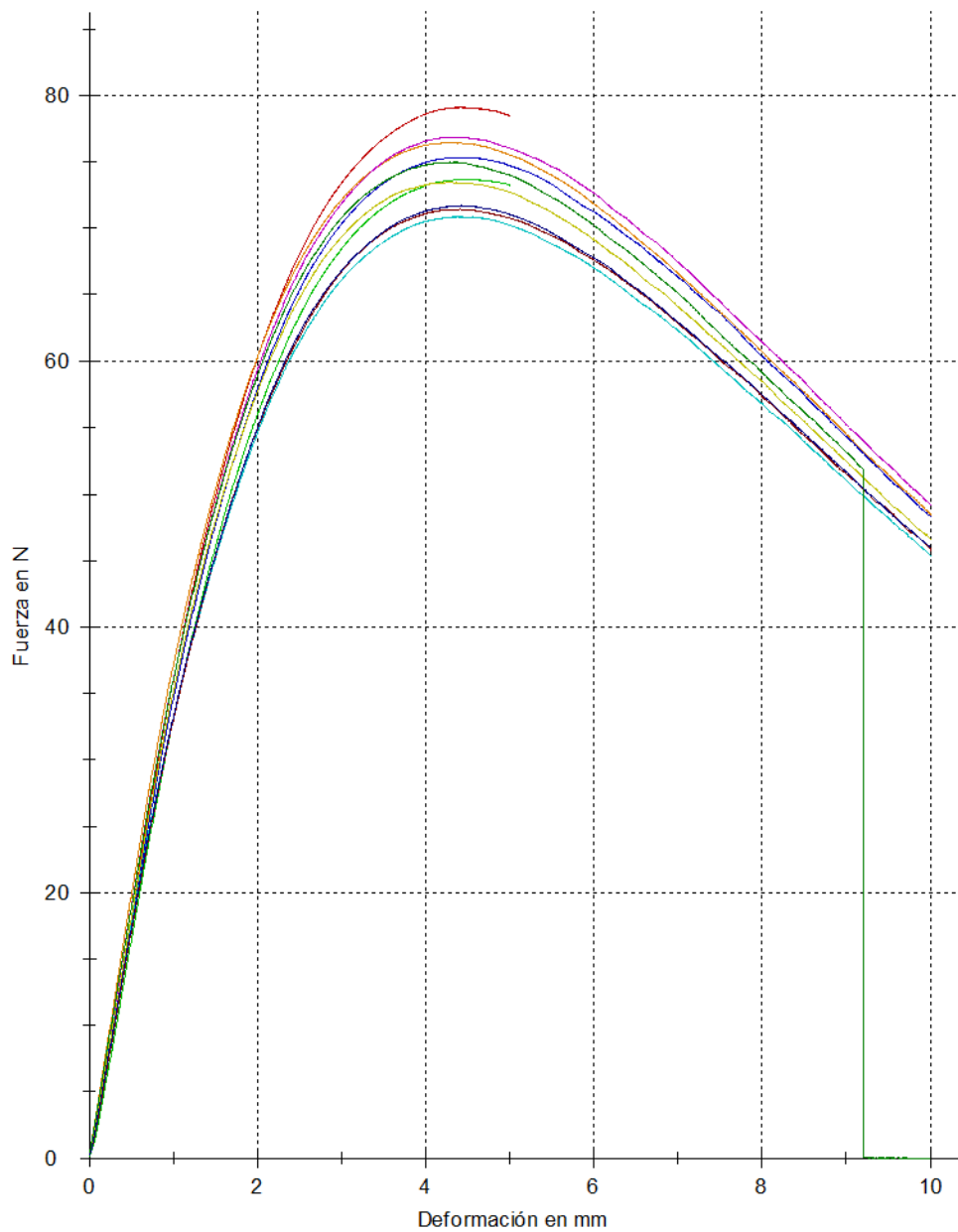
PROBETAS PMMA 2X10mm

Nr	F{lo low} N	F{lo high} N	E{lo mod} MPa	F en deform. N	Límite super N	dL en límite mm	F{lo max} N	dL en F{lo m. mm	F{lo Rotura} N	dL en rotura mm	a{lo 0} mm	b{lo 0} mm	S{lo 0} mm <sup>2</sup>
1	51,3	121	3020	133	-	-	154	2,9	154	2,9	2	10	20
2	49,6	118	2970	130	-	-	151	2,8	151	2,8	2	10	20
3	51,4	122	3080	135	-	-	159	2,9	159	2,9	2	10	20
4	52,6	124	3120	136	-	-	163	3,1	158	3,1	2	10	20
5	53,1	126	3170	139	-	-	158	2,8	156	2,8	2	10	20
6	81,5	142	2630	147	-	-	168	3,1	161	3,1	2	10	20
7	82,2	143	2660	149	-	-	158	2,4	158	2,4	2	10	20
8	78,6	137	2560	143	-	-	153	2,5	153	2,5	2	10	20
9	81,4	142	2630	148	-	-	159	2,5	159	2,5	2	10	20
10	75	132	2460	137	-	-	140	2,2	140	2,2	2	10	20



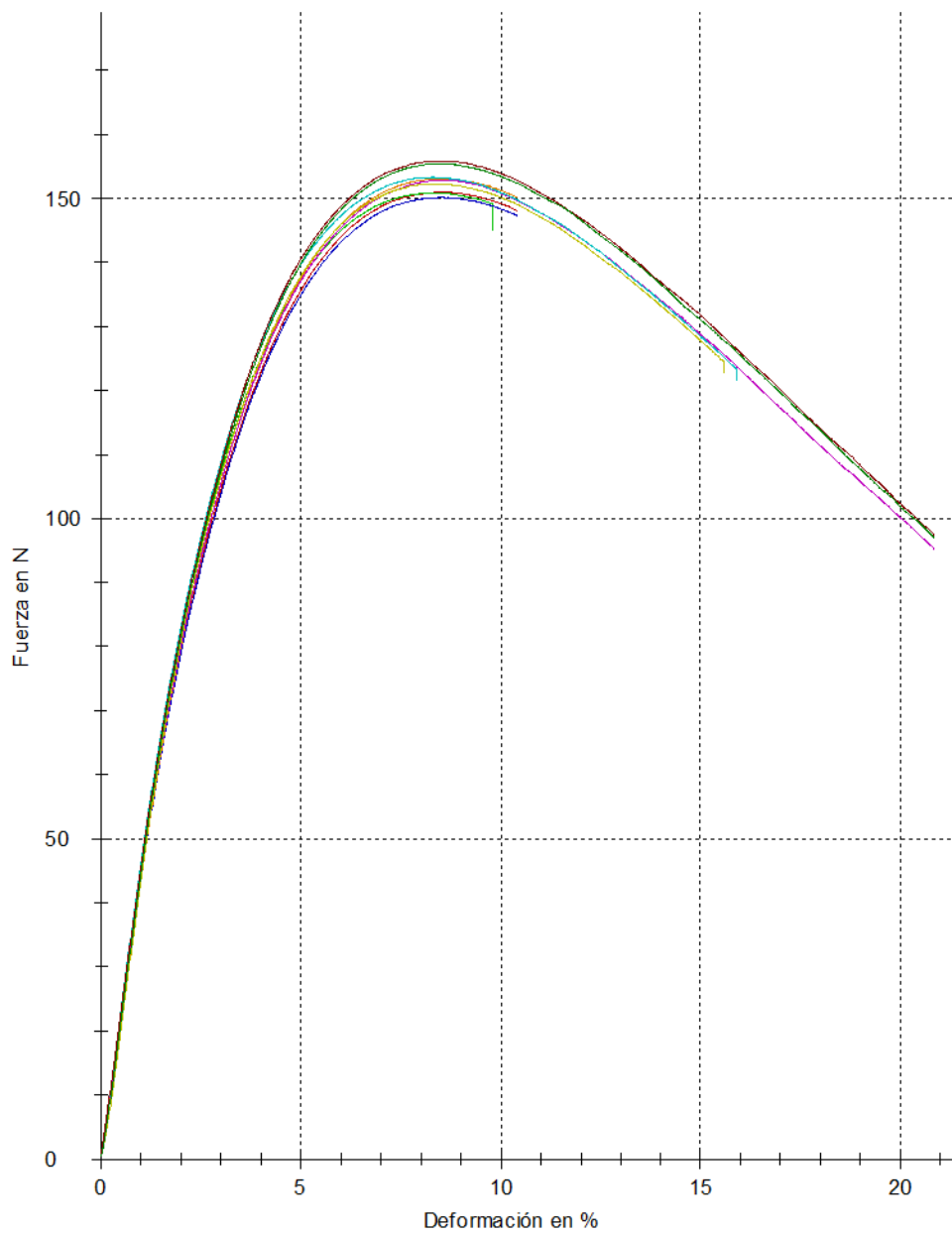
## PROBETAS ACETAL 1,5X10mm

Nr	F{lo low} N	F{lo high} N	E{lo mod} MPa	F en deform. N	Límite super N	dL en límite mm	F{lo max} N	dL en F{lo má mm	a{lo 0} mm	b{lo 0} mm	S{lo 0} mm <sup>2</sup>
1	36,1	60,3	2470	64,9	-	-	79,1	4,4	1,5	10	15
2	33,1	56	2350	60,4	-	-	73,7	4,5	1,5	10	15
3	34,7	58	2380	62,4	75,4	4,5	75,4	4,5	1,5	10	15
4	37,2	60,4	2360	64,4	76,5	4,3	76,5	4,3	1,5	10	15
5	36,1	59,4	2370	64	76,9	4,3	76,9	4,3	1,5	10	15
6	33,2	54,6	2190	58,9	70,9	4,4	70,9	4,4	1,5	10	15
7	35,2	57,8	2300	61,7	73,5	4,3	73,5	4,3	1,5	10	15
8	33,1	55	2240	59	71,5	4,4	71,5	4,4	1,5	10	15
9	36,1	59	2330	63,1	75	4,3	75	4,3	1,5	10	15
10	33,3	55	2210	59,8	71,7	4,5	71,7	4,5	1,5	10	15



PROBETAS ACETAL 2X10mm

Nr	F{lo low}	F{lo high}	E{lo mod}	F en deform.	Límite super	dL en límite	F{lo max}	dL en F{lo m	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 <sup>2</sup>
1	82,1	125	1860	129	-	-	151	4,1	-	-	2	10	20
2	84,8	128	1840	131	-	-	151	4	145	4,7	2	10	20
3	81,5	125	1870	128	-	-	150	4,1	-	-	2	10	20
4	82,4	127	1930	131	-	-	153	4,1	-	-	2	10	20
5	82,7	127	1900	131	-	-	153	4,2	-	-	2	10	20
6	85,7	130	1900	133	-	-	153	4	121	7,6	2	10	20
7	83,6	128	1900	131	-	-	152	4	123	7,5	2	10	20
8	85	130	1950	134	-	-	156	4,1	-	-	2	10	20
9	84,4	129	1930	133	-	-	155	4,1	-	-	2	10	20



## ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Para el análisis estadístico de los datos se ha utilizado el programa SPSS 22.0 para Windows.

Los métodos estadísticos utilizados son los siguientes (14):

- Test de Kolmogorv-Smirnov para una muestra (procedimiento NPAR TESTS) para determinar si las variables cuantitativas del estudio provienen de una distribución normal. (15)
- Análisis de la varianza, ANOVA (procedimiento ONEWAY), para la comparación de múltiples medias. Cuando el valor global de la F de Snedecor es significativo nos indica que las medias en los grupos no son iguales. Se muestra el test de Bonferroni que realiza comparaciones múltiples de medias, ordenando las medias de menor a mayor y compara las diferencias entre pares (menor-mayor), conectando los grupos que no difieren significativamente. De esta manera halla subconjuntos de medias no significativamente diferentes. Si dos medias se agrupan en un mismo subconjunto no son diferentes significativamente, en otro caso serán diferentes significativamente. (15,16)
- Análisis de la varianza, ANOVA 2 factores (procedimiento UNIANOVA), para la comparación de múltiples medias sobre dos condiciones. Se muestra el test de Bonferroni para las comparaciones múltiples de medias de cada factor. (16)
- Test de la t de Student pareada (procedimiento T-TEST) para la comparación de dos muestras relacionadas sobre el mismo sujeto. (16)

AJUSTE MARGINAL (tablas en Anexo 2)

Se realiza la Prueba de Kolmogorov-Smirnov para comprobar la normalidad de la muestra. Al obtener  $p=0,2$  ( $p > 0,05$ ), podemos asumir la normalidad, por lo que emplearemos un test paramétrico, en este caso, la Prueba T de Student para Muestras Pareadas.

Al obtener una  $p=0,392$  ( $p>0,05$ ) con una significación del 95%, podemos afirmar que no existen diferencias significativas en el ajuste marginal entre los puentes de PMMA y Acetal.

ENSAYO DE FLEXIÓN (tablas en Anexo 3)

Se realiza la Prueba de Kolmogorov-Smirnov para comprobar la normalidad de la muestra. Para cada una de las variables, obtenemos valores de  $P>0,05$ , por lo que podemos afirmar que la distribución es normal. Por tanto, realizaremos tests paramétricos, en este caso, ANOVA 1 factor y ANOVA 2 factores.

Para cada una de las variables, nos plantearemos tres preguntas:

- ¿Influye el grosor en el material?
- ¿Hay diferencias entre los grosores?
- ¿Hay diferencias entre los materiales?

Si la primera pregunta es afirmativa, entonces no podremos responder a la segunda y tercera pregunta, por lo que emplearemos ANOVA 1 factor para cada subgrupo; si, en cambio, la diferencia no es significativa, emplearemos ANOVA 2 factores.

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

El grosor influye significativamente al 95% ( $p=0,002$ ) en el material.

Por tanto, realizamos ANOVA 1 factor fijando el material y, posteriormente, el grosor.

Hay diferencias significativas ( $p < 0,001$ ) entre las probetas de 1,5mm y 2mm de Acetal.

Las de 2mm tienen un inicio del Módulo-E a una fuerza mayor que las de 1,5mm, con una diferencia de  $83,578 - 34,810 = 48,768$  N.

Hay diferencias significativas ( $p < 0,001$ ) entre las probetas de 1,5mm y 2mm de PMMA.

Las de 2mm tienen un inicio del Módulo-E (ModE) a una fuerza (F) mayor que las de 1,5mm, con una diferencia de  $65,670 - 33,690 = 31,98$  N.

En las probetas de 1,5mm, no hay diferencias significativas al 95% ( $p = 0,067$ ) entre PMMA y Acetal.

En las probetas de 2mm, hay diferencias significativas al 95% ( $p = 0,002$ ) entre PMMA y Acetal. La F necesaria para iniciar el ModE es mayor en las de Acetal, siendo la diferencia de  $83,578 - 65,670 = 17,908$  N.

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

El grosor no influye significativamente al 95% ( $p = 0,470$ ) en el material.

Hay diferencias significativas al 95% ( $p < 0,01$ ) entre las probetas de 1,5mm y 2mm. Siendo mayor la F necesaria para finalizar el ModE en las de 2mm, con una diferencia de  $129,263 - 60,280 = 68,983$  N.

No hay diferencias significativas al 95% ( $p = 0,15$ ) entre las probetas de PMMA y Acetal.

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

El grosor influye significativamente al 95% ( $p=0,022$ ) en el material.

Por tanto, realizamos ANOVA 1 factor fijando el material y, posteriormente, el grosor.

En las probetas de Acetal, hay diferencias significativas al 95% ( $p<0,01$ ) entre las probetas de 1,5mm y de 2mm. Siendo mayor el ModE en las de 1,5mm, con una diferencia de  $2320,0-1897,778 = 422,22$  Mpa.

En las probetas de PMMA, hay diferencias significativas al 95% ( $p=0,035$ ) entre las probetas de 1,5mm y de 2mm. Siendo mayor el ModE en las de 1,5mm, con una diferencia de  $3027,0-2830,0 = 197$  Mpa.

En las probetas de 1,5mm, hay diferencias significativas al 95% ( $p<0,01$ ) entre las probetas de Acetal y PMMA. Siendo el ModE mayor en las de PMMA, con una diferencia de  $3027,0-2320,0 = 707$  Mpa.

En las probetas de 2mm, hay diferencias significativas al 95% ( $p<0,01$ ) entre las probetas de Acetal y PMMA. Siendo el ModE mayor en las de PMMA, con una diferencia de  $2830,0-1897,778 = 932,222$  Mpa.

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

El grosor no influye significativamente al 95% ( $p=0,996$ ) en el material.

Existen diferencias significativas al 95% ( $p<0,001$ ) entre las probetas de 1,5 y 2mm. Siendo mayor la F en las probetas de 2mm, con una diferencia de  $135,684-66,105 = 69,579$ N.

Existen diferencias significativas al 95% ( $p < 0,001$ ) entre las probetas de Acetal y PMMA. Siendo mayor la F en las probetas de PMMA, con una diferencia de  $105,025 - 94,716 = 10,92N$ .

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

El grosor no influye significativamente al 95% ( $p = 0,075$ ) en el material.

Hay diferencias significativas al 95% ( $p < 0,01$ ) entre las probetas de 1'5mm y las de 2mm. Siendo mayor la F máxima en las probetas de 2mm, con una diferencia de  $154,79 - 78,855 = 75,935N$ .

Hay diferencias significativas al 95% ( $p < 0,01$ ) entre las probetas de PMMA y Acetal. Siendo mayor la F máxima en las probetas de PMMA, con una diferencias de  $119,795 - 111,484 = 8,311N$ .

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

El grosor influye significativamente al 95% ( $p = 0,004$ ) en el material.

Por tanto, realizaremos ANOVA 1 factor, fijando primero el material, y posteriormente, el grosor.

En las probetas de Acetal, hay diferencias significativas al 95% ( $p < 0,01$ ) entre las de 1'5mm y las de 2mm. Siendo mayor la deformación en las de 1,5mm, con una diferencia de  $4,390 - 4,078 = 0,312mm$ .

En las probetas de PMMA, hay diferencias significativas al 95% ( $p < 0,01$ ) entre las de 1,5mm y las de 2mm. Siendo mayor la deformación en las de 1,5mm, con una diferencia de  $3,620 - 2,720 = 0,9mm$ .

En las probetas de 1,5mm, hay diferencias significativas al 95% ( $p < 0,01$ ) entre las de Acetal y PMMA. Siendo mayor la deformación en las de Acetal, con una diferencia de  $4,390 - 3,620 = 0,77\text{mm}$ .

En las probetas de 2mm, hay diferencias significativas al 95% ( $p < 0,01$ ) entre las de Acetal y PMMA. Siendo mayor la deformación en las de Acetal, con una diferencia de  $4,078 - 2,720 = 1,358\text{mm}$ .

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

Para esta variable, sólo estudiamos las probetas de PMMA, comparando los grosores. Esto se debe a que las probetas de Acetal no llegan al punto de fractura durante el ensayo.

Por tanto, realizamos ANOVA 1 factor fijando el material.

En las probetas de PMMA, hay diferencias significativas al 95% ( $p < 0,01$ ) entre las probetas de 1,5mm y las de 2mm. Siendo mayor la F en las de 2mm, con una diferencia de  $154,9 - 81,833 = 73,067\text{N}$ .

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

Para esta variable, sólo estudiamos las probetas de PMMA, comparando los grosores. Esto se debe a que las probetas de Acetal no llegan al punto de fractura durante el ensayo.

Por tanto, realizamos ANOVA 1 factor fijando el material.

Para las probetas de PMMA, hay diferencias significativas al 95% ( $p < 0,01$ ) entre las de 1,5mm y 2mm. Siendo mayor la deformación en las de 1,5mm, con una diferencia de  $3,589 - 2,720 = 0,869\text{mm}$ .

## DISCUSIÓN

Diferentes estudios nos hablan de los ajustes marginales en prótesis realizadas con materiales provisionales y definitivos. Actualmente, no existen estudios que midan el ajuste marginal, ni el comportamiento elástico, de coronas confeccionadas con Acetal, por lo que no podremos comparar resultados con otros autores.

Existen numerosos materiales que podemos emplear para la confección de prótesis provisionales mediante la tecnología CAD/CAM. Clemente et al. nos hablan en su estudio del Sistema CEREC, que permite el uso de materiales como el PMMA o composites de distintos tipos. Con este sistema, se consiguen unos ajustes marginales que se encuentran por debajo de 120  $\mu\text{m}$ . (17)

Anthony et al. investigan los ajustes marginales de seis tipos diferentes de resinas para la confección de provisionales, con unos resultados que oscilan desde 180  $\mu\text{m}$  (PEMA) hasta 400  $\mu\text{m}$  (PMMA). (13)

Matta et al. deciden medir la discrepancia marginal de coronas de zirconio realizadas por CAD/CAM, mediante escáner y análisis virtual en 3D. De esta manera, obtienen unos valores que se encuentran entre las 51  $\mu\text{m}$  y 82  $\mu\text{m}$ . (18)

Shiratsuchi et al. estudian el ajuste marginal de coronas de Metal-Porcelana en diferentes puntos mediante microscopio. Obtienen resultados que oscilan entre las 22  $\mu\text{m}$  y 90  $\mu\text{m}$ . (19)

Ehrenberg et al. miden el ajuste marginal de coronas provisionales de PMMA y Composite Bis-Ácril, antes y después de someterlas a un tratamiento de termociclado. El ajuste se mide marcando varios puntos y captando las imágenes mediante

microscopio óptico. Se obtienen unos valores de 322-421  $\mu\text{m}$  para el PMMA y de 323-499 para el Composite Bis-Ácril. (20)

En cuanto al comportamiento elástico de materiales provisionales, tenemos pocos estudios al respecto. Scherrer et al. estudian la resistencia a la fatiga y la fuerza de flexión de diferentes materiales plásticos para la confección de prótesis provisionales (Artglass, Columbus, Targis, Jet, Protemp II, Protemp Garant, Providont DC), obteniendo valores para la resistencia a la fatiga de 19,6-62,1 MPa; y para la fuerza de flexión de 54,2-145,2 MPa. (21)

Asimismo, Poonacha et al. miden la fuerza de flexión y el módulo de elasticidad del PMMA, Resina Bis-Ácril y Resina Fotopolimerizable, obteniendo unos valores de fuerza de flexión de 56,2-60,0 MPa (PMMA), 27,2-21,4 MPa (Resina Bis-Ácril) y 37,2-37,0 MPa (Resina Fotopolimerizable); y de módulo de elasticidad de 1029-899 MPa (PMMA), 3971-2159 MPa (Resina Bis-Ácril) y 3545-3661 MPa (Resina Fotopolimerizable). (22)

Por último, encontramos un estudio en el que Watanabe et al. miden la resistencia a la fractura de diferentes materiales provisionales (PMMA, BARC, PEMA, BAFC) en el que el PMMA obtiene los valores más altos de resistencia con 0,89 MPa. (23)

A la vista de los resultados en nuestro estudio, podemos afirmar que, tanto PMMA, como Acetal, obtienen unos resultados de ajuste marginal más que óptimos. Con unos valores de 71,3  $\mu\text{m}$  (Acetal) y 53,1  $\mu\text{m}$  (PMMA) y comparándolos con los estudios anteriormente mencionados, vemos que éstos se ajusten se acercan bastante más a los obtenidos por Matta et al. y Shiratsuchi et al. para zirconio y metal-porcelana respectivamente; que a aquellos que miden el ajuste en PMMA y otros materiales

provisionales. Esta diferencia se debe a que, tanto Anthony et al., como Ehrenberg et al., estudian el PMMA confeccionado de manera manual, y no fabricado por sistema CAD/CAM. De esta manera, queda patente la clara mejoría que obtenemos en el ajuste cuando utilizamos este sistema para fabricar nuestras restauraciones. Por tanto, el tiempo que podremos tenerlas en boca se aumenta considerablemente.

No tenemos estudios que hablen del Acetal como material para confeccionar restauraciones, por lo que no podremos comparar el ajuste obtenido con otros autores. No obstante, sí podemos afirmar que, aun obteniendo un desajuste algo mayor, las diferencias con el PMMA no son estadísticamente significativas.

En cuanto al ensayo de flexión, podemos afirmar que existen diferencias estadísticamente significativas entre ambos materiales.

En primer lugar, si observamos las gráficas (págs.18-21), podremos ver cómo las probetas de PMMA tienen un comportamiento mucho menos elástico, es decir, la curva que obtenemos es menos pronunciada, finalizando con la fractura del material; que las de Acetal, en las que observamos una curva muy pronunciada en la que el material no llega nunca a la fractura. Por esta razón, para las probetas de PMMA fijamos una deformación de 5mm, y en las de Acetal tuvimos que aumentarla a 10mm para obtener, de esta forma, la curva completa. Asimismo, podemos observar cómo en la gráfica de las probetas de PMMA 2x10mm, tenemos una pequeña oscilación en alguna de las probetas. Esto se debió a que la célula de carga sufría una vibración por no estar fijada al máximo. No obstante, esto no produjo ningún cambio significativo en los resultados.

En cuanto al inicio y el final del MódE, comprobamos que el grosor sí que influye para modificar el momento en el que el material comienza a comportarse de manera elástica. De esta manera, se puede afirmar que a mayor grosor, mayor fuerza es

necesaria para que el material comience a comportarse de manera elástica, independientemente del material.

En cuanto al MódE propiamente dicho, hemos comprobado que sí que existen diferencias, tanto en grosores, como en materiales. Se confirma que a menor grosor, mayor es el MódE, es decir, el material se comporta de manera más rígida y, por tanto, llega antes a la fractura. Asimismo, se comprueba que las probetas de PMMA tienen un mayor MódE que las de Acetal. Es decir, son más rígidas. Esto concuerda con lo mencionado anteriormente de las gráficas, obteniendo una curva mucho mayor en las de Acetal, que en las de PMMA. Los valores obtenidos para las probetas de PMMA oscilan entre los 2830 MPa y 3027 MPa, según los grosores. Estos resultados difieren con los obtenidos por Poonacha et al. (1029-899 MPa), que obtienen unos valores mucho menores y, por tanto, una mayor elasticidad del material. Estas diferencias se deben a que los métodos de confección difieren, siendo nuestras probetas fabricadas por CAD/CAM y, en su caso, de manera manual.

En cuanto a la deformación plástica, comprobamos que también hay diferencias, tanto en grosores, como en materiales. De esta forma, se confirma que a mayor grosor, mayor fuerza es necesaria para producir una deformación permanente. Asimismo, necesitaremos mayor fuerza para producir una deformación permanente en las probetas de PMMA, que en las de Acetal (es más rígido el PMMA).

## CONSLUSIONES

- La adaptación marginal se encuentra dentro de los límites considerados “aceptables”, no habiendo diferencias significativas entre PMMA y Acetal.
- El Acetal es un material más elástico que el PMMA, habiendo diferencias significativas entre ambos.
- El grosor influye significativamente en la elasticidad de los materiales. Por tanto, a mayor grosor, tanto PMMA como Acetal se comportarán de manera más elástica.

**BIBLIOGRAFÍA**

1. Suarez, del Río, Cervera. Análisis por elementos finitos de la influencia del diseño de estructuras protésicas en su resistencia mecánica. *R IntPrótEst* 2012; 14 (4): 245-250.
2. Beuer F, Schweiger J, Edelhoff D. Digital dentistry: an overview of recent developments for CAD/CAM generated restorations. *Br Dent J* 2008; 204: 505-511.
3. Miyazaki T, Hotta Y. CAD/CAM systems available for the fabrication of crown and bridge restorations. *Aust Dent J.* 2011 Jun;56Suppl 1:97-106.
4. José Luis Antonaya Martín. Estudio del ángulo de cono en coronas elaboradas mediante CAD/CAM para la consecución de una retención predecible y facultativamente reversible en prótesis fija implanto-soportada. Defendida el 20 de diciembre de 2013, calificación Apto “cum laude” por unanimidad. Págs. 36-40.
5. Mitchell CA, Pintado MR, Douglas WH. Nondestructive, in vitro quantification of crown margins. *J Prosthet Dent* 2001; 85: 575-84.
6. Shillingburg HT, Hobo S, Whitsett LD, Jacobi R, Brackett SE. Fundamentos esenciales en Prótesis Fija. Tercera edición. Págs. 226-227.
7. Kamble VD, Parkhedkar RD. In vitro comparative evaluation of the effect of two different fiber reinforcements on the fracture toughness of provisional restorative resins. *Indian J Dent Res* 2012; 23: 140-4.
8. Edelhoff D, Beuer F, Schweiger J, Brix O, Stimmelmayer M, Güth JF. CAD/CAM-generated high-density polymer restorations for the pretreatment of complex cases: A case report. *Quintessence Int* 2012; 43 (6): 457-467.
9. Savion Y, Sharon-Buller A, Kalisker Y, Kalisker N, Sela M. The use of Dental D (polyacetal resin) as an alternative for Chrome-cobalt removable partial denture: a case report. *RefuatHapehVehashinayim* 2001; 18:30-31,108.
10. Jiao T, Chang T, Caputo AA. Load transfer characteristics of unilateral distal extension removable partial dentures with polyacetal resin. *Aus Den J.* 2009; 54: 31-37.
11. Holst S, Karl M, Wichman M, Matta RE. A new triple-scan protocol for 3D fit assessment of dental restorations. *Quintessence Int* 2011; 42: 651-657.

12. Qualtrough AJE, Piddock V. Fitting accuracy of indirect restorations: A review of methods of assessment. *Eur J Prosthodont Rest Dent* 1992; 1 (2): 57-61.
13. Anthony H, Tjan L, Castelnuovo J, Shiotsu G. Marginal fidelity of crowns fabricated from six proprietary provisional materials. *J Prosthet Dent* 1997; 77: 482-5.
14. IBM SPSS. *SPSS Statistics 22.0 Command Syntax Reference*. SPSS Inc. 2013.
15. Ferrán Aranaz, M. *SPSS para Windows. Programación y Análisis Estadístico*. Mc Graw Hill. 1996.
16. Sánchez, M., Frutos, G. y Cuesta, P. L. *Estadística y matemáticas aplicadas*. Editorial Síntesis. 1996.
17. Gómez Clemente V, Martínez Vázquez de Parga JA, Celemín Viñuela A. Provisionales mediante tecnología CAD/CAM. Estado actual y revisión bibliográfica. *R IntPrótEst* 2013; 15 (4): 259-265.
18. Matta RE, Schmitt J, Wichmann M, Holst S. Circumferencial fit assessment of CAD/CAM single crowns – A pilot investigation o a new virtual analytical protocol. *Quintessence Int* 2012; 43 (9): 801-809.
19. Shiratsuchi H, Komine F, Kakwhashi Y, Matsumura H. Influence of finish line design on marginal adaptation of electroformed metal-ceramic crowns. *J Prosthet Dent* 2006; 95: 237-42.
20. 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: 230-6.
21. Scherrer SS, Wiskott AHW, Coto-Hunkizer V, Belser UC. Monotonic flexure and fatigue strength of composites for provisional and definite restorations.
22. Poonacha V, Poonacha S, Salagundi B, Rupesh PL, Raghavan R. In vitro comparison of flexural strenght and elastic modulus of three provisional Crown materials used in fixed prosthodontics. *J Clin Exp Dent* 2013; 5(5): e212-7.
23. Watanabe H, Kim Eughwan, Piskorski NL, Sarsland J, Covey DA, Johnson WW. Mechanical properties and color stability of provisional restoration resins. *Am J Dent* 2013; 26: 265-270.

**ANEXO 1**

	Hospital Clínico San Carlos		Informe dictamen favorable Proyecto Investigación Biomédica
			C.P. - C.I. 12/463-E
			09 de enero de 2013

**CEIC Hospital Clínico San Carlos**

**INFORME DEL COMITÉ ÉTICO DE INVESTIGACIÓN CLÍNICA**

Dra. Mar García Arenillas  
Secretaria del CEIC Hospital Clínico San Carlos

**CERTIFICA**

Que el proyecto de investigación titulado **Estudio del PMMA como material provisional y la resina acetálica como definitivo, confeccionados por sistema cad/cam, en prótesis dento e implantosoportadas: ensayo clínico e "in vitro"** con código interno nº 12/463-E del que es Investigador Principal el **Dr. Jaime del Río Highsmith** del Departamento de Estomatología I. Facultad de Odontología de la Universidad Complutense de Madrid, ha sido estudiado por este Comité, no habiéndose realizado objeción alguna al mismo.

Es por ello que el Comité **informa favorablemente** sobre la realización de dicho proyecto.

Lo que firmo en Madrid, a 10 de enero de 2013

  
Hospital Clínico San Carlos  
SaludMadrid  
Comunidad de Madrid

Dra. Mar García Arenillas  
Secretaria del CEIC Hospital Clínico San Carlos

---

Hospital Clínico San Carlos Página 1 c  
Doctor Martín Lagos, s/n. Madrid 28040 Madrid España  
Tel. 91 330 34 13 Fax. 91 330 32 99 Correo electrónico ceic.hcsc@salud.madrid.org

**ANEXO 2****AJUSTE MARGINAL****Pruebas NPar****Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra**

		Length_Acetal_mean	Length_PMMA_mean
N		9	9
Parámetros normales <sup>a,b</sup>	Media	71,2870	53,0741
	Desviación estándar	56,48691	46,58575
Máximas diferencias extremas	Absoluta	,226	,189
	Positivo	,217	,189
	Negativo	-,226	-,175
Estadístico de prueba		,226	,189
Sig. asintótica (bilateral)		,200 <sup>c,d</sup>	,200 <sup>c,d</sup>

a. La distribución de prueba es normal.

b. Se calcula a partir de datos.

c. Corrección de significación de Lilliefors.

d. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

**Prueba T****Estadísticas de muestras emparejadas**

		Media	N	Desviación estándar	Media de error estándar
Pa r 1	Length_Acetal_mean	71,2870	9	56,48691	18,82897
	Length_PMMA_mean	53,0741	9	46,58575	15,52858

**Prueba de muestras emparejadas**

	Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)
	Media de error estándar	Desviación estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia					
			Inferior	Superior				
Pa r 1 Length_Acetal_mean - Length_PMMA_mean	20,12636	60,37907	-28,19850	64,62442	,905	8	,392	

**ANEXO 3****ENSAYO DE FLEXIÓN****Material = Acetal****Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra<sup>a</sup>**

	N	Parámetros normales <sup>b,c</sup>		Máximas diferencias extremas			Estadístico de prueba	Sig. asintótica (bilateral)
		Mediana	Desviación estándar	Ab soluta	Po sitivo	Ne gativo		
		F{lo low}	19	57,9 11	25,0605	,32 2		
F{lo high}	19	90,7 63	36,0259	,32 7	,32 7	- ,303	,127	,200 <sup>d</sup>
E{lo mod}	19	2120 ,000	226,298 7	,24 7	,24 7	- ,155	,087	,303 <sup>d</sup>
F en deformación plástica 0.2%	19	94,7 16	35,6406	,32 5	,32 5	- ,299	,125	,200 <sup>d</sup>
F{lo max}	19	111, 484	40,2042	,31 6	,31 6	- ,305	,116	,206 <sup>d</sup>
dL en F{lo max}	19	4,24 2	,1774	,21 0	,21 0	- ,154	,090	,300 <sup>d</sup>
F{lo Rotura}	3	129, 667	13,3167	,35 8	,35 8	- ,258	,128	,200 <sup>d,e</sup>
dL en rotura	3	6,60 0	1,6462	,37 4	,27 2	- ,374	,174	,130 <sup>d,e</sup>

a. Material = Acetal

b. La distribución de prueba es normal.

c. Se calcula a partir de datos.

d. Corrección de significación de Lilliefors.

e. La significación no se puede calcular porque la suma de las ponderaciones de casos es menor que 5.

**Material = PMMA****Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra<sup>a</sup>**

	N	Parámetros normales <sup>b,c</sup>		Máximas diferencias extremas			Estadístico de prueba	Sig. asintótica (bilateral)
		Mediana	Desviación estándar	Ab soluta	Po sitivo	Ne gativo		
		F{lo low}	20	49,6 80	19,3913	,28 2		

F{lo high}	20	96,8	35,3741	,32	,32	-	,121	,200 <sup>d</sup>
		55		1	1	,225		
E{lo mod}	20	2928	213,868	,25	,14	-	,159	,150 <sup>d</sup>
		,500	5	9	5	,259		
F en deformación plástica 0.2%	20	105,025	35,8865	,32	,32	-	,123	,200 <sup>d</sup>
				3	3	,257		
F{lo max}	20	119,795	37,8737	,31	,31	-	,110	,180 <sup>d</sup>
				0	0	,245		
dL en F{lo max}	20	3,17	,6071	,15	,14	-	,150	,200 <sup>d,e</sup>
		0		0	6	,150		
F{lo Rotura}	19	120,289	37,8063	,28	,28	-	,189	,168 <sup>d</sup>
				9	9	,265		
dL en rotura	19	3,13	,6037	,15	,15	-	,152	,200 <sup>d,e</sup>
		2		2	2	,129		

a. Material = PMMA

b. La distribución de prueba es normal.

c. Se calcula a partir de datos.

d. Corrección de significación de Lilliefors.

e. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

## Pruebas NPar

### Grosor = 1,5

#### Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra<sup>a</sup>

	N	Parámetros normales <sup>b,c</sup>		Máximas diferencias extremas			Estadístico de prueba	Sig. asintótica (bilateral)
		Mediana	Desviación estándar	Absoluta	Positivo			
					Negativo			
F{lo low}	20	34,2	1,3759	,12	,12	-	,122	,200 <sup>d,e</sup>
		50		2	2	,111		
F{lo high}	20	60,2	3,3563	,15	,11	-	,153	,200 <sup>d,e</sup>
		80		3	0	,153		
E{lo mod}	20	2673	370,252	,23	,23	-	,136	,135 <sup>d</sup>
		,500	8	6	6	,230		
F en deformación plástica 0.2%	20	66,1	4,7327	,16	,11	-	,165	,154 <sup>d</sup>
		05		5	4	,165		
F{lo max}	20	78,8	5,3617	,14	,09	-	,141	,200 <sup>d,e</sup>
		55		1	2	,141		
dL en F{lo max}	20	4,00	,5206	,21	,17	-	,115	,116 <sup>d</sup>
		5		5	1	,215		
F{lo Rotura}	9	81,8	3,6411	,14	,11	-	,141	,200 <sup>d,e</sup>
		33		1	0	,141		

dL en rotura	9	3,58	,5183	,21	,16	-	,214	,200 <sup>d,e</sup>
		9		4	3	,214		

- Grosor = 1,5
- La distribución de prueba es normal.
- Se calcula a partir de datos.
- Corrección de significación de Lilliefors.
- Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

## Grosor = 2,0

### Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra<sup>a</sup>

	N	Parámetros normales <sup>b,c</sup>		Máximas diferencias extremas			Estadístico de prueba	Sig. asintótica (bilateral)
		Media	Desviación estándar	Absoluta	Positivo	Negativo		
F{lo low}	19	74,153	14,0616	,328	,206	-	,128	,200 <sup>d</sup>
F{lo high}	19	129,263	7,1402	,196	,196	-	,196	,054 <sup>d</sup>
E{lo mod}	19	2388,421	514,4281	,277	,277	-	,177	,185 <sup>d</sup>
F en deformación plástica 0.2%	19	135,684	6,5494	,185	,185	-	,185	,085 <sup>d</sup>
F{lo max}	19	154,579	5,7957	,163	,134	-	,163	,199 <sup>d</sup>
dL en F{lo max}	19	3,363	,7305	,282	,167	-	,182	,082 <sup>d</sup>
F{lo Rotura}	13	149,077	13,4068	,249	,187	-	,149	,200 <sup>d</sup>
dL en rotura	13	3,615	1,8484	,379	,379	-	,179	,185 <sup>d</sup>

- Grosor = 2,0
- La distribución de prueba es normal.
- Se calcula a partir de datos.
- Corrección de significación de Lilliefors.

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

### Estadísticos descriptivos

Variable dependiente: F{lo low}

Material	Grosor	Media	Desviación estándar	N
----------	--------	-------	---------------------	---

Acetal	1,5	34,810	1,5488	10
	2,0	83,578	1,4729	9
	Total	57,911	25,0605	19
PMMA	1,5	33,690	,9492	10
	2,0	65,670	14,9915	10
	Total	49,680	19,3913	20
Total	1,5	34,250	1,3759	20
	2,0	74,153	14,0616	19
	Total	53,690	22,4247	39

ANOVA 2 factores:

**Pruebas de efectos inter-sujetos**

Variable dependiente: F{lo low}

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	17039,261 <sup>a</sup>	3	5679,754	96,046	,000
Interceptación	115331,582	1	115331,582	1950,282	,000
Material	880,678	1	880,678	14,892	,000
Grosor	15859,955	1	15859,955	268,195	,000
Material * Grosor	685,531	1	685,531	11,592	,002
Error	2069,755	35	59,136		
Total	131529,970	39			
Total corregido	19109,016	38			

a. R al cuadrado = ,892 (R al cuadrado ajustada = ,882)

**Pruebas de efectos inter-sujetos<sup>a</sup>**

Variable dependiente: F{lo low}

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	11265,613 <sup>b</sup>	1	11265,613	4917,643	,000
Interceptación	66389,996	1	66389,996	28980,429	,000
Grosor	11265,613	1	11265,613	4917,643	,000
Error	38,945	17	2,291		
Total	75023,510	19			
Total corregido	11304,558	18			

a. Material = Acetal

b. R al cuadrado = ,997 (R al cuadrado ajustada = ,996)

**Pruebas de efectos inter-sujetos<sup>a</sup>**

Variable dependiente: F{lo low}

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	5113,602 <sup>b</sup>	1	5113,602	45,324	,000
Interceptación	49362,048	1	49362,048	437,518	,000
Grosor	5113,602	1	5113,602	45,324	,000
Error	2030,810	18	112,823		
Total	56506,460	20			
Total corregido	7144,412	19			

a. Material = PMMA

b. R al cuadrado = ,716 (R al cuadrado ajustada = ,700)

**Pruebas de efectos inter-sujetos<sup>a</sup>**

Variable dependiente: F{lo low}

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	6,272 <sup>b</sup>	1	6,272	3,801	,067
Interceptación	23461,250	1	23461,250	14219,897	,000
Material	6,272	1	6,272	3,801	,067
Error	29,698	18	1,650		
Total	23497,220	20			
Total corregido	35,970	19			

a. Grosor = 1,5

b. R al cuadrado = ,174 (R al cuadrado ajustada = ,128)

**Pruebas de efectos inter-sujetos<sup>a</sup>**

Variable dependiente: F{lo low}

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	1519,051 <sup>b</sup>	1	1519,051	12,658	,002
Interceptación	105512,680	1	105512,680	879,248	,000
Material	1519,051	1	1519,051	12,658	,002
Error	2040,057	17	120,003		
Total	108032,750	19			
Total corregido	3559,107	18			

a. Grosor = 2,0

b. R al cuadrado = ,427 (R al cuadrado ajustada = ,393)

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

**Estadísticos descriptivos**

Variable dependiente: F{lo high}

Material	Grosor	Media	Desviación estándar	N
Acetal	1,5	57,550	2,2506	10
	2,0	127,667	1,8708	9
	Total	90,763	36,0259	19
PMMA	1,5	63,010	1,4678	10
	2,0	130,700	9,6959	10
	Total	96,855	35,3741	20
Total	1,5	60,280	3,3563	20
	2,0	129,263	7,1402	19
	Total	93,887	35,3547	39

ANOVA 2 factores:

**Pruebas de efectos inter-sujetos**

Variable dependiente: F{lo high}

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	46559,230 <sup>a</sup>	3	15519,743	578,433	,000
Interceptación	349261,829	1	349261,829	13017,253	,000

Material	175,468	1	175,468	6,540	,015
Grosor	46193,540	1	46193,540	1721,668	,000
Material * Grosor	14,324	1	14,324	,534	,470
Error	939,074	35	26,831		
Total	391275,600	39			
Total corregido	47498,304	38			

a. R al cuadrado = ,980 (R al cuadrado ajustada = ,979)

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

#### Estadísticos descriptivos

Variable dependiente: E{lo mod}

Material	Grosor	Media	Desviación estándar	N
Acetal	1,5	2320,000	86,2812	10
	2,0	1897,778	35,9784	9
	Total	2120,000	226,2987	19
PMMA	1,5	3027,000	65,3282	10
	2,0	2830,000	265,9574	10
	Total	2928,500	213,8685	20
Total	1,5	2673,500	370,2528	20
	2,0	2388,421	514,4281	19
	Total	2534,615	463,3962	39

ANOVA 2 factores:

#### Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente: E{lo mod}

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	7407603,675 <sup>a</sup>	3	2469201,225	114,867	,000
Interceptación	246894682,553	1	246894682,553	11485,526	,000
Material	6536066,336	1	6536066,336	304,057	,000
Grosor	932682,553	1	932682,553	43,388	,000
Material * Grosor	123385,255	1	123385,255	5,740	,022
Error	752365,556	35	21496,159		
Total	258706700,000	39			
Total corregido	8159969,231	38			

a. R al cuadrado = ,908 (R al cuadrado ajustada = ,900)

**Pruebas de efectos inter-sujetos<sup>a</sup>**

Variable dependiente: E{lo mod}

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	844444,444 <sup>b</sup>	1	844444,444	185,579	,000
Interceptación	84266760,234	1	84266760,234	18518,837	,000
Grosor	844444,444	1	844444,444	185,579	,000
Error	77355,556	17	4550,327		
Total	86315400,000	19			
Total corregido	921800,000	18			

a. Material = Acetal

b. R al cuadrado = ,916 (R al cuadrado ajustada = ,911)

**Pruebas de efectos inter-sujetos<sup>a</sup>**

Variable dependiente: E{lo mod}

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	194045,000 <sup>b</sup>	1	194045,000	5,174	,035
Interceptación	171522245,000	1	171522245,000	4573,859	,000
Grosor	194045,000	1	194045,000	5,174	,035
Error	675010,000	18	37500,556		
Total	172391300,000	20			
Total corregido	869055,000	19			

a. Material = PMMA

b. R al cuadrado = ,223 (R al cuadrado ajustada = ,180)

**Pruebas de efectos inter-sujetos<sup>a</sup>**

Variable dependiente: E{lo mod}

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	2499245,000 <sup>b</sup>	1	2499245,000	426,776	,000
Interceptación	142952045,000	1	142952045,000	24410,747	,000
Material	2499245,000	1	2499245,000	426,776	,000

Error	105410,000	18	5856,111		
Total	145556700,000	20			
Total corregido	2604655,000	19			

a. Grosor = 1,5

b. R al cuadrado = ,960 (R al cuadrado ajustada = ,957)

#### Pruebas de efectos inter-sujetos<sup>a</sup>

Variable dependiente: E{lo mod}

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	4116497,076 <sup>b</sup>	1	4116497,076	108,169	,000
Intercepción	105877339,181	1	105877339,181	2782,130	,000
Material	4116497,076	1	4116497,076	108,169	,000
Error	646955,556	17	38056,209		
Total	113150000,000	19			
Total corregido	4763452,632	18			

a. Grosor = 2,0

b. R al cuadrado = ,864 (R al cuadrado ajustada = ,856)

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

#### Estadísticos descriptivos

Variable dependiente: F en deformación plástica 0.2%

Material	Grosor	Media	Desviación estándar	N
Acetal	1,5	61,860	2,2471	10
	2,0	131,222	1,9221	9
	Total	94,716	35,6406	19
PMMA	1,5	70,350	1,4804	10
	2,0	139,700	6,6841	10
	Total	105,025	35,8865	20
Total	1,5	66,105	4,7327	20
	2,0	135,684	6,5494	19
	Total	100,003	35,6773	39

**Pruebas de efectos inter-sujetos**

Variable dependiente: F en deformación plástica 0.2%

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	47872,165 <sup>a</sup>	3	15957,388	1124,157	,000
Interceptación	395308,188	1	395308,188	27848,436	,000
Material	700,311	1	700,311	49,335	,000
Grosor	46802,628	1	46802,628	3297,124	,000
Material * Grosor	,000	1	,000	,000	,996
Error	496,825	35	14,195		
Total	438388,990	39			
Total corregido	48368,990	38			

a. R al cuadrado = ,990 (R al cuadrado ajustada = ,989)

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

**Estadísticos descriptivos**

Variable dependiente: F{lo max}

Material	Grosor	Media	Desviación estándar	N
Acetal	1,5	74,420	2,6532	10
	2,0	152,667	1,9365	9
	Total	111,484	40,2042	19
PMMA	1,5	83,290	3,1529	10
	2,0	156,300	7,5432	10
	Total	119,795	37,8737	20
Total	1,5	78,855	5,3617	20
	2,0	154,579	5,7957	19
	Total	115,746	38,7372	39

**Pruebas de efectos inter-sujetos**

Variable dependiente: F{lo max}

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	56326,792 <sup>a</sup>	3	18775,597	945,636	,000
Interceptación	529752,433	1	529752,433	26681,059	,000
Material	380,270	1	380,270	19,152	,000
Grosor	55650,598	1	55650,598	2802,851	,000
Material * Grosor	66,704	1	66,704	3,360	,075
Error	694,925	35	19,855		
Total	579511,430	39			
Total corregido	57021,717	38			

a. R al cuadrado = ,988 (R al cuadrado ajustada = ,987)

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

#### Estadísticos descriptivos

Variable dependiente: dL en F{lo max}

Material	Grosor	Media	Desviación estándar	N
Acetal	1,5	4,390	,0876	10
	2,0	4,078	,0667	9
	Total	4,242	,1774	19
PMMA	1,5	3,620	,4849	10
	2,0	2,720	,3048	10
	Total	3,170	,6071	20
Total	1,5	4,005	,5206	20
	2,0	3,363	,7305	19
	Total	3,692	,7028	39

#### Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente: dL en F{lo max}

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	15,711 <sup>a</sup>	3	5,237	59,968	,000
Interceptación	533,360	1	533,360	6107,399	,000
Material	11,013	1	11,013	126,104	,000
Grosor	3,574	1	3,574	40,930	,000
Material * Grosor	,840	1	,840	9,623	,004
Error	3,057	35	,087		
Total	550,460	39			
Total corregido	18,768	38			

a. R al cuadrado = ,837 (R al cuadrado ajustada = ,823)

#### Pruebas de efectos inter-sujetos<sup>a</sup>

Variable dependiente: dL en F{lo max}

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	,462 <sup>b</sup>	1	,462	75,079	,000
Interceptación	339,647	1	339,647	55224,224	,000
Grosor	,462	1	,462	75,079	,000

Error	,105	17	,006		
Total	342,480	19			
Total corregido	,566	18			

a. Material = Acetal

b. R al cuadrado = ,815 (R al cuadrado ajustada = ,805)

#### Pruebas de efectos inter-sujetos<sup>a</sup>

Variable dependiente: dL en F{lo max}

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	4,050 <sup>b</sup>	1	4,050	24,695	,000
Interceptación	200,978	1	200,978	1225,476	,000
Grosor	4,050	1	4,050	24,695	,000
Error	2,952	18	,164		
Total	207,980	20			
Total corregido	7,002	19			

a. Material = PMMA

b. R al cuadrado = ,578 (R al cuadrado ajustada = ,555)

#### Pruebas de efectos inter-sujetos<sup>a</sup>

Variable dependiente: dL en F{lo max}

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	2,964 <sup>b</sup>	1	2,964	24,422	,000
Interceptación	320,801	1	320,801	2642,750	,000
Material	2,964	1	2,964	24,422	,000
Error	2,185	18	,121		
Total	325,950	20			

Total corregido	5,150	19			
-----------------	-------	----	--	--	--

a. Grosor = 1,5

b. R al cuadrado = ,576 (R al cuadrado ajustada = ,552)

#### Pruebas de efectos inter-sujetos<sup>a</sup>

Variable dependiente: dL en F{lo max}

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	8,733 <sup>b</sup>	1	8,733	170,334	,000
Interceptación	218,888	1	218,888	4269,497	,000
Material	8,733	1	8,733	170,334	,000
Error	,872	17	,051		
Total	224,510	19			
Total corregido	9,604	18			

a. Grosor = 2,0

b. R al cuadrado = ,909 (R al cuadrado ajustada = ,904)

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

#### Estadísticos descriptivos<sup>a</sup>

Variable dependiente: F{lo Rotura}

Grosor	Media	Desviación estándar	N
1,5	81,833	3,6411	9
2,0	154,900	6,0818	10
Total	120,289	37,8063	19

a. Material = PMMA

#### Pruebas de efectos inter-sujetos<sup>a</sup>

Variable dependiente: F{lo Rotura}

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	25288,758 <sup>b</sup>	1	25288,758	979,381	,000

Interceptación	265465,284	1	265465,284	10280,914	,000
Grosor	25288,758	1	25288,758	979,381	,000
Error	438,960	17	25,821		
Total	300649,310	19			
Total corregido	25727,718	18			

a. Material = PMMA

b. R al cuadrado = ,983 (R al cuadrado ajustada = ,982)

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

#### Estadísticos descriptivos<sup>a</sup>

Variable dependiente: dL en rotura

Grosor	Media	Desviación estándar	N
1,5	3,589	,5183	9
2,0	2,720	,3048	10
Total	3,132	,6037	19

a. Material = PMMA

#### Pruebas de efectos inter-sujetos<sup>a</sup>

Variable dependiente: dL en rotura

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	3,576 <sup>b</sup>	1	3,576	20,368	,000
Interceptación	188,536	1	188,536	1073,780	,000
Grosor	3,576	1	3,576	20,368	,000
Error	2,985	17	,176		
Total	192,890	19			
Total corregido	6,561	18			

a. Material = PMMA

b. R al cuadrado = ,545 (R al cuadrado ajustada = ,518)