



Universidad de Oviedo



ASTURIAS  
CAMPUS DE EXCELENCIA  
INTERNACIONAL

**UNIVERSIDAD DE OVIEDO**

**MÁSTER UNIVERSITARIO DE ORTODONCIA Y ORTOPEDIA DENTOFACIAL**

**ESTUDIO DE BRACKETS AUTOLIGABLES MEDIANTE  
MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO**

**Aiala González Ruiz**

**Trabajo Fin de Máster  
Mayo 2015**





Universidad de Oviedo



ASTURIAS  
CAMPUS DE EXCELENCIA  
INTERNACIONAL

**UNIVERSIDAD DE OVIEDO**

**MÁSTER UNIVERSITARIO DE ORTODONCIA Y ORTOPEDIA DENTOFACIAL**

**ESTUDIO DE BRACKETS AUTOLIGABLES MEDIANTE  
MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO**

**Trabajo Fin de Máster**

**Aiala González Ruiz**

**Dr. Alberto Álvarez Suárez**  
Tutor







Universidad de Oviedo

## **ACRÓNIMOS**

S.: Siglo

Cols.: Colaboradores

V-L.: Vestíbulo lingual

MEB.: Microscopio Electrónico de Barrido

kV.: Kilovoltaje

nm.: nanómetro

cm.: centímetro

PC.: Computadora personal

BMP.: Bits Maps Protocole

TIFF.: Tagged Image File Format

JPG/JPEG.: Joint Photographic Experts Group

Am J Orthod Dentofacial Orthop. : American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics

Semin Orthod.: Seminars in Orthodontics

Angle Orthod.: The Angle Orthodontist

J Appl Oral Sci.: Journal of applied Oral Science

Dental Press J Orthod.: Dental Press Journal of Orthodontics

Av Periodon Implantol.: Avances en Periodoncia e Implantologia Oral

Korean J Orthod.: The Korean Journal of Orthodontics

Med Sci Monit.: Medical Science Monitor



## RESUMEN

Desde finales del siglo XIX, cuando Angle desarrolló el arco E en su afán de mover los dientes en los tres planos del espacio, se han ido creando diferentes tipos de brackets. Así, a día de hoy tenemos lo que conocemos como brackets preajustados, que llevan la información de 1º, 2º y 3º orden en su estructura interna para evitar las dobleces de los arcos. Sin embargo, el afán de los últimos años ha sido el reducir al mínimo la fricción creada entre bracket y ligadura, y por ello han surgido los brackets de autoligado. Teniendo en cuenta el aumento actual de la prevalencia de reacciones alérgicas a metales como níquel (Ni) o cromo (Cr), el interés sobre las composiciones y el fenómeno corrosivo de las aleaciones en odontología ha ido en constante aumento. Es por eso, que el proceso de fabricación de cada bracket, por fundido o por mecanizado, es de gran importancia, ya que puede influir en gran medida en su composición y estructura final.

El propósito de este estudio consiste en el análisis de la estructura atómica de cinco brackets de autoligado escogidos al azar y sin tratamiento ni uso previo, con el fin de determinar los elementos que los componen y conocer las posibles diferencias estructurales y de composición entre sus distintas partes y entre ellos, y compararlo con la información recibida desde las casas comerciales: **In-Ovation®** (GAC), **Smart-Clip™** (3M), **Carriere® SLB** (Class One), **Damon Q** (Ormco), **Agility** (ODP).

El análisis se realizó mediante microscopía electrónica de barrido (**MEB JEOL-6610LV**) en los Servicios Científico Técnico del Vicerrectorado de Investigación de la Universidad de Oviedo, más concretamente en la unidad de Microscopía Electrónica de la Unidad científico-tecnológica.

Tras el estudio podemos considerar la microscopía electrónica de barrido, un método fiable para conocer la composición de los brackets. Se comprobó que, aunque los cinco están compuestos de acero, no son homogéneos, lo que podría tener importantes implicaciones clínicas, y por otro lado, los resultados obtenidos difieren de los datos facilitados por las casas comerciales.

Palabras clave: *Brackets de autoligado; Composición de brackets autoligables; Microscopio electrónico de barrido; Fabricación brackets.*



## ABSTRACT

Since the late XIX century, when Angle developed the E wire in an effort to move teeth in 3 dimensions, authors have been creating different types of brackets. So, nowadays we have what we call preadjusted brackets that carry information of 1st, 2nd and 3rd order in their structure to avoid bending wires. However, the desire of recent years has been to minimize the friction between bracket and ligature, and therefore have appeared self-ligating brackets. Taking into account the current increase in the prevalence of allergic reactions to metals such as nickel (Ni) or chrome(Cr), interest on the compositions and corrosive phenomenon of alloys in dentistry has increased. Being that, the brackets fabrication process, by injection or machining, has great importance because it can influence greatly in its composition and final structure.

The purpose of this study is the analysis of the atomic structure of 5 self-ligating brackets randomly selected and without prior treatment or use, in order to determine the elements that compose them and know the possible structural and compositional differences between their different parts and between them and compare it with the information received from commercial firms: **In-Ovation** (GAC) **Smart-Clip**™ (3M), **Carriere® SLB** (Class One), **Damon Q** (Ormco) **Agility** (ODP).

The analysis was performed using scanning electron microscopy (**SEM JEOL-6610LV**) in the Scientific Technical Services of Research Office at the University of Oviedo, specifically in the Electron Microscopy Unit of the scientific-technological Unit.

After the study we can consider scanning electron microscopy reliable to know the composition of the brackets. Was verified that although five are composed of stainless steel, are not homogeneous, which could have important clinical implications. On the other hand, our results differ from the ones received from the dental material supplier.

Keywords: *Self-ligating brackets, Composition of self-ligating brackets; Scanning Electron Microscopy; Brackets fabrication process.*



## **INDICE**

<b>I.</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>13</b>
<b>II.</b>	<b>HIPÓTESIS Y OBJETIVOS .....</b>	<b>25</b>
<b>III.</b>	<b>MATERIAL Y MÉTODOS.....</b>	<b>29</b>
<b>IV.</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>35</b>
	<b>a. ANÁLISIS BRACKET IN-OVATION .....</b>	<b>37</b>
	<b>b. ANÁLISIS BRACKET SMART-CLIP .....</b>	<b>39</b>
	<b>c. ANÁLISIS BRACKET CARRIERE .....</b>	<b>41</b>
	<b>d. ANÁLISIS BRACKET DAMON Q .....</b>	<b>44</b>
	<b>e. ANALISIS BRACKET AGILITY.....</b>	<b>47</b>
<b>V.</b>	<b>DISCUSIÓN.....</b>	<b>49</b>
<b>VI.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>65</b>
<b>VII.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>69</b>



# **I. INTRODUCCIÓN**



## 1. INTRODUCCIÓN

A finales del siglo XIX Angle, desarrolló el arco E (Fig.1A) en su afán de mover los dientes en los 3 planos del espacio. Más adelante y para conseguir mayor control del movimiento dentario, desarrolló el aparato de pin y tubo (Fig. 1B), posteriormente el arco-cinta y finalmente el arco de canto (Figs. 1C y D). En este último diseñó un bracket de oro al que cambió la orientación de la apertura y la colocó en el frontal, con un slot de 0,022 x 0,028”; era conocida como la “bracket blanda” y con ella conseguía controlar el movimiento en los 3 planos del espacio. En 1928 se convirtió en la piedra angular del tratamiento con aparatos fijos.

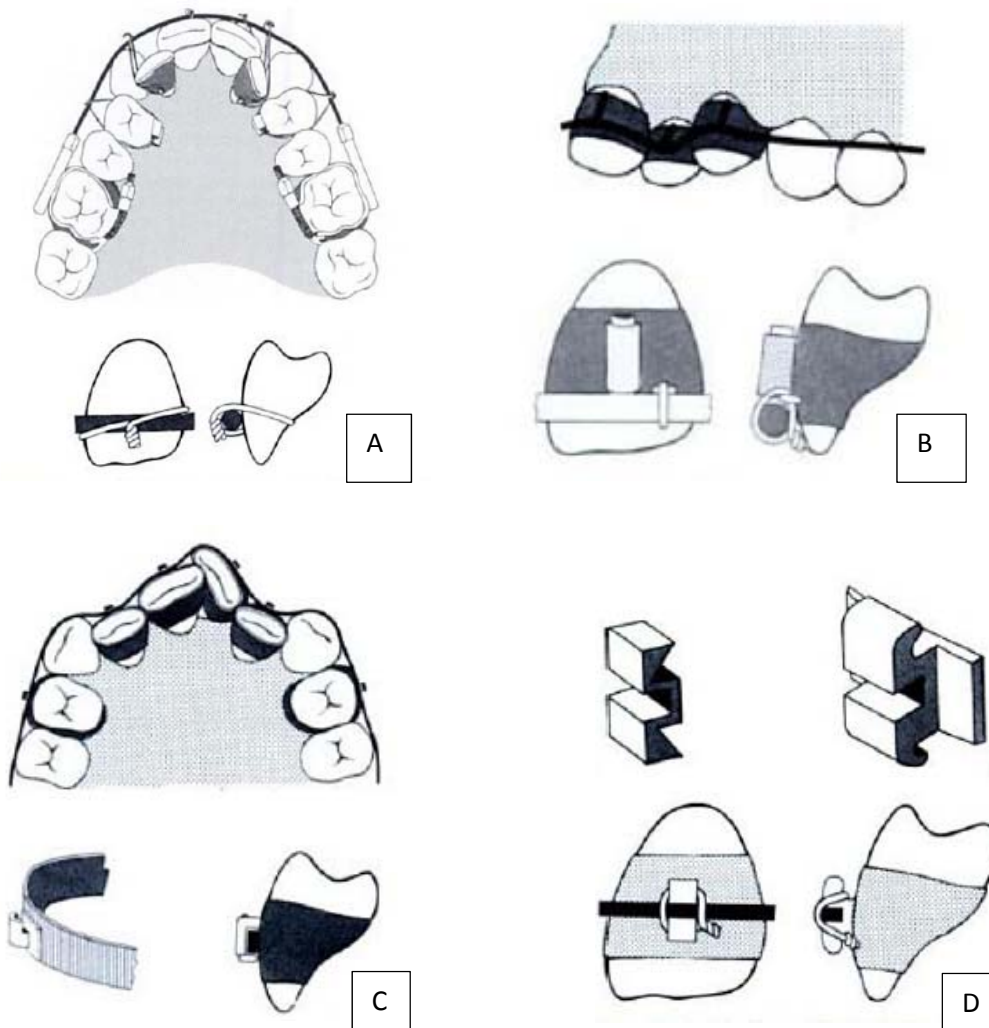


Fig. 1. Imágenes tomadas del libro *Ortodoncia y Clínica Terapéutica*, José Antonio Canut Brusola, 2ª edición. A) Arco E; B) Aparato de pin y tubo; C) Arco cinta de Angle; D) Brackets para arco de canto.

Tras su aparición, diversos autores como Charles Tweed o Raymond Begg hicieron adaptaciones de los mismos.

El aparato de arco de canto ha evolucionado considerablemente hasta la actualidad a partir del diseño original. Los principales pasos en su evolución han sido:

- el control automático de la rotación,
- la modificación del grosor V-L del bracket,
- las modificaciones en la dimensión, angulación y torque de las ranuras de los brackets para evitar así las dobleces de 1º, 2º y 3º orden en los arcos.

Estas modificaciones han dado lugar a lo que hoy conocemos como aparatos de arco recto.

Las técnicas de arco recto en sus principios biomecánicos continuaron la evolución para mejorar tanto en la eficacia clínica como en la aceptación por parte del paciente. La utilización de nuevos alambres (arcos de níquel-titanio (Niti) y de titanio molibdeno (TMA)) aumentó la flexibilidad de los arcos y permitió la utilización de fuerzas cada vez más ligeras.

La utilización de estos arcos, junto con el uso de ligaduras elásticas, produce una gran fricción. Una solución a esta desventaja se encontró al modificar la forma de ligado del arco creando lo que hoy conocemos como brackets de autoligado, que poseen elementos propios en su diseño para la fijación del arco <sup>(1)</sup>.

Según diversos autores la forma de ligar el arco puede determinar la efectividad de los resultados del tratamiento ortodóncico <sup>(2,3)</sup>, y defienden que con los brackets autoligables el tiempo de tratamiento y las citas son más cortas <sup>(4,5)</sup>, que el alineamiento inicial es más rápido <sup>(6)</sup>, aunque otros lo desmienten <sup>(7)</sup>, que hay menor fricción <sup>(8-11)</sup>, que la necesidad de realizar extracciones es menor <sup>(5,12)</sup>, que aparecen menos reabsorciones

radiculares <sup>(13)</sup>, que las fuerzas aplicadas son más ligeras <sup>(14-16)</sup> y que acumulan menos placa <sup>(17-19)</sup>. Es por ello que se ha convertido en el aspecto más novedoso de las técnicas fijas actuales.

Con todo ello, en la última década los autores plantean que el sistema de ligado debe:

- ✓ Ser eficiente
- ✓ Ser seguro, fuerte. Asegurar que todo el arco se inserta correctamente en el slot.
- ✓ Ser rápido y fácil de usar.
- ✓ Producir poca fricción entre el bracket y el arco.
- ✓ Permitir un alto nivel de fricción cuando lo deseemos.
- ✓ Permitir una buena higiene oral/ acumular poca placa.
- ✓ Ser cómodo para el paciente, no doloroso.

Así, a lo largo de los últimos años, se han ido diseñando diferentes tipos de brackets autoligables, pasivos y activos <sup>(20)</sup>:

- 1935, **Russel attachment** (Stolzenberg) (Fig.2)



Fig. 2 Russel attachment. Imagen tomada de: “ Self-Ligating Brackets: An Overview” Maen Zreaqat and Rozita Hassan



- 1970, Dr. Jim Wildman (Oregón), desarrolló el primer bracket de autoligado pasivo: **Edgelok** (Fig. 3)



Fig. 3 Bracket Edgelok. Imagen tomada de "The History and development of Self-Ligating Brackets". Nigel Harradine; (Semin Orthod 2008;14:5-18.)

- 1980, Dr. Herbert Hanson (USA) desarrolló el primer bracket de autoligado activo: **Speed** (Fig.4)
  - Con clip de NITI superelástico.
  - Despertó interés en los ortodoncistas



Fig. 4 Bracket Speed. Imagen tomada del artículo: "The History and development of Self-Ligating Brackets". Nigel Harradine; (Semin Orthod 2008; 14:5-18.)

- 1986, Dr. Erwin Pletcher creó el bracket **Activa** (pasivo) (Fig. 5)
  - Bk con base muy amplia, poco estética
  - Con clip rígido, fácil de abrir y cerrar por los pacientes

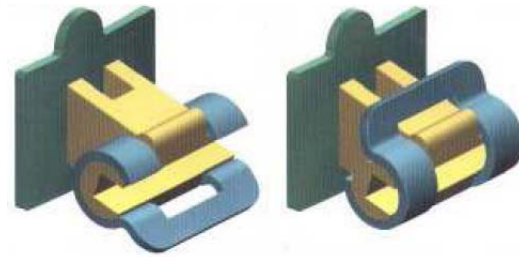


Fig. 5 Bracket Activa. Imagen tomada del artículo: "Self-Ligating Brackets: An Overview" Maen Zreayat and Rozita Hassan

- 1995, Dr. Wolfgang Heiser crea el bracket **Time** (Adenta, Gilching/Munich, Germany) (Fig. 6), pasivo, muy similar al Speed, pero con el brazo muy rígido que evitaba la interacción con el arco.

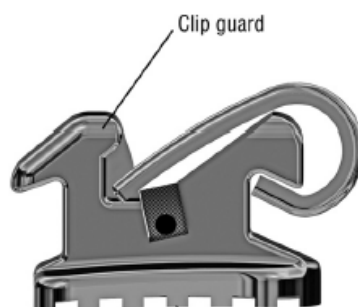


Fig. 6 Bracket Time. Imagen tomada del artículo: "The History and development of Self-Ligating Brackets". Nigel Harradine; (Semin Orthod 2008;14:5-18.)

- 1996, **Damon SL I**
- 1999, Dr. Dwight Damon (USA):
  - Bracket de auto-ligado pasivo convertido en un tubo que brindaba libertad de movimiento y desarrollo en el arco **Damon SL II** (Fig. 7)

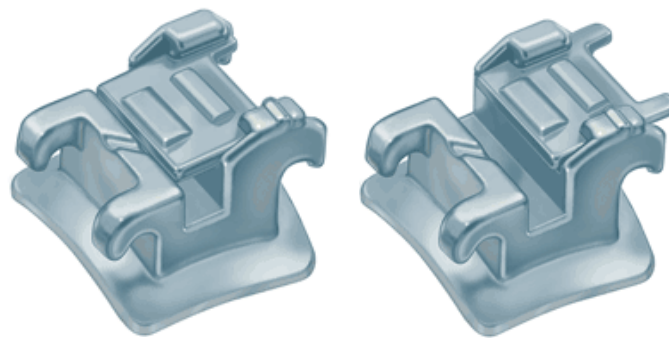


Fig. 7 Bracket Damon SLII. Imagen tomada del artículo: ‘‘The History and development of Self-Ligating Brackets’’. Nigel Harradine; (Semin Orthod 2008; 14:5-18.)

- 2002, **In-Ovation R** (GAC International, Bohemia, NY, USA)

Activo y/o pasivo: según la sección de arco que utilizemos.



Fig. 8 Bracket In-Ovation. Imagen tomada del catálogo de GAC.

- 2004, **Smart Clip** (3M UNITEK, USA) (Fig.9)
  - Clip interno de Niti que abraza al arco



Fig. 9 Bracket Smart Clip. Imagen tomada del catálogo de 3M.

- 2004, **Damon III** (Fig.10)
  - Soporte híbrido de metal y resina compuesta



Fig. 10 Bracket Damon III. Imagen tomada del artículo: ‘‘The History and development of Self-Ligating Brackets’’. Nigel Harradine; (Semin Orthod 2008;14:5-18.)

- 2006, **Damon 3 MX** (Fig.11)



Fig. 11 Bracket Damon 3MX. Imagen tomada del catálogo de ORMCO.

- 2006, **Carriere** (Fig.12)



Fig. 12 Bracket Carriere. Imagen tomada del artículo: ‘‘The History and development of Self-Ligating Brackets’’. Nigel Harradine; (Semin Orthod 2008;14:5-18.)

- 2010, **Damon Q** (Fig.13)



Fig. 13 Bracket Damon Q. Imagen tomada del catálogo de ORMCO.

- **2011, Agility** (Fig. 14 A)
  - Clip de NiTi que abraza totalmente al bracket, mayor control de rotación.
  - Perfil de emergencia 20% menor que el Damon Q (Fig. 14.B)

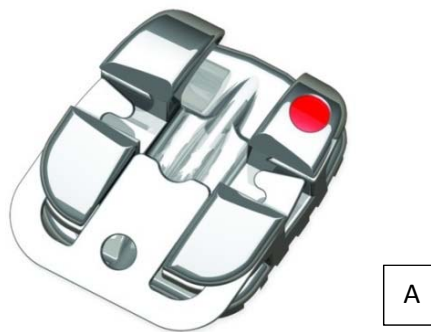


Fig. 14 A) Bracket Agility; B) Comparacion de perfiles de emergencia de varios brackets. Imágenes tomadas del catálogo de ODP.

En cuanto a la fabricación de los brackets metálicos, se pueden elaborar con dos sistemas diferentes: Fundidos o Mecanizados.

**Fundidos:** se realizan por inyección del acero inoxidable líquido en un molde preformado y dejando que solidifique, con lo que se consigue una exactitud inigualable. Es un proceso más económico y a su vez, con menor potencial corrosivo <sup>(21)</sup>.

**Mecanizados:** se desarrollan a partir de un bloque sólido de acero inoxidable, sobre el cual, mediante fresas y tornos se consigue dar la forma deseada.

La actual prevalencia de reacciones alérgicas a metales como níquel (Ni) o cromo (Cr), ha hecho que aumente el interés sobre las composiciones y el fenómeno corrosivo de las aleaciones en odontología <sup>(21,22)</sup>.

De ahí, la importancia del proceso de fabricación de los brackets por su influencia final en las propiedades clínicas.

## **II. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS**





## 2. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

En los últimos años, el número de brackets de autoligado en el mercado ha aumentado.

Generalmente, los materiales que utilizamos en nuestra clínica diaria proceden directamente de las casas comerciales sin apenas información sobre su composición exacta.

El diferente proceso de fabricación, unido a las pequeñas modificaciones en la composición química introducidas por cada fabricante, puede condicionar el comportamiento clínico esperado de los brackets, influyendo en aspectos tanto clínicos (fricción) como biológicos (alergias).

Los **objetivos** de este estudio son:

- ✓ Estudiar la estructura de 5 brackets de autoligado, de los más utilizados en la actualidad
- ✓ Determinar los distintos elementos que los componen
- ✓ Comparar nuestros datos con los recibidos desde las casas comerciales



### **III. MATERIAL Y MÉTODOS**



### 3. MATERIAL Y MÉTODOS

Revisión bibliográfica de artículos de los últimos años: Scisearch de la Univ. de Oviedo, Pubmed, Cochrane, Google académico.

Palabras clave: *Self-ligating brackets; Composition of self-ligating brackets; Scanning Electron Microscopy, Brackets fabrication process*

Análisis mediante Microscopía Electrónica de Barrido (JEOL 6610 LV, Universidad de Oviedo) de zonas aleatorias de los siguientes brackets de autoligado (Fig.15) para comprobar su composición exacta:

- **In-Ovation®** (DENTSPLY GAC) (2002)
- **Smart Clip™** (3M UNITEK, USA) (2004)
- **Carriere®** SLB (Class One Orthodontics) (2006)
- **Damon Q** (Ormco) (2010)
- **Agility** (ODP, Vista, California) (2011)



Fig. 15 Fotografía de los brackets analizados.

En el microscopio electrónico de barrido es necesario acelerar los electrones en un campo eléctrico, para aprovechar de esta manera su comportamiento ondulatorio, lo cual se lleva a cabo en la columna del microscopio, donde se aceleran mediante una diferencia de potencial de 1000 a 30000 voltios. Los electrones acelerados por un voltaje pequeño se utilizan para muestras muy sensibles, como podrían ser las muestras biológicas sin preparación adicional o muestras muy aislantes. Los voltajes elevados se utilizan para muestras metálicas, ya que éstas en general no sufren daños como las biológicas y de esta manera se aprovecha la menor longitud de onda para tener una mejor resolución. Como se observa en la Fig. 16, los electrones acelerados salen del cañón, y se enfocan mediante las lentes condensadora y objetiva, cuya función es reducir la imagen del filamento, de manera que incida en la muestra un haz de electrones lo más pequeño posible (para así tener una mejor resolución). Con las bobinas deflectoras se barre este fino haz de electrones sobre la muestra, punto por punto y línea por línea.

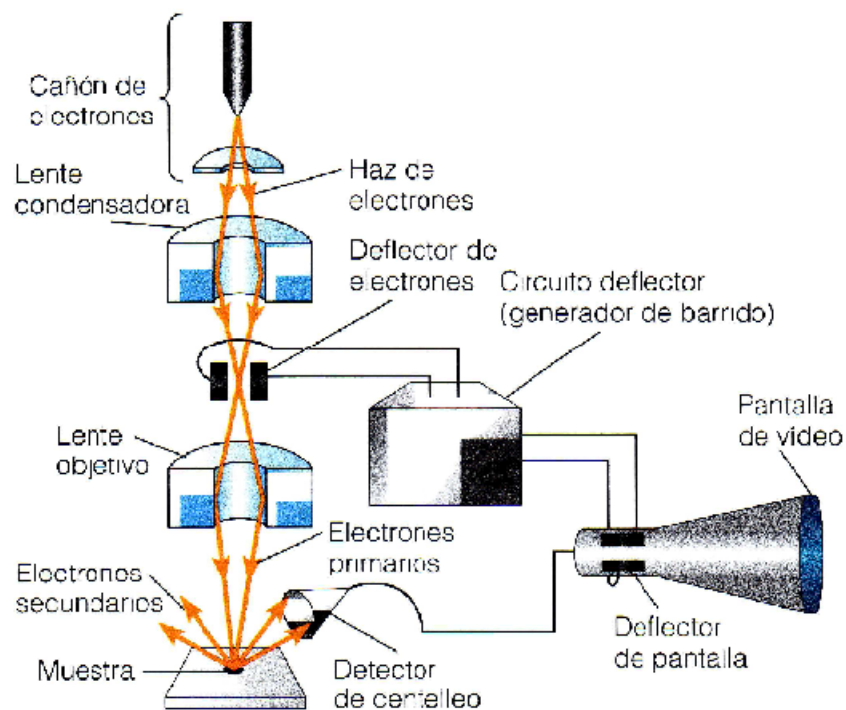


Fig. 16 Esquema del microscopio electrónico de barrido

Cuando el haz incide sobre la muestra, se producen muchas interacciones entre los electrones del mismo haz, y los átomos de la muestra; puede haber, por ejemplo, electrones que reboten como las bolas de billar. Por otra parte, la energía que pierden los electrones al "chocar" contra la muestra puede hacer que otros electrones salgan despedidos (electrones secundarios), y producir rayos X, electrones Auger, etc. El más común de éstos es el que detecta electrones secundarios, y es con él que se hace la mayoría de las imágenes de microscopios de barrido.

También podemos adquirir la señal de rayos X que se produce cuando se desprenden estos mismos de la muestra, y posteriormente hacer un análisis espectrográfico de la composición de la muestra.

Los análisis se llevaron a cabo en los Servicios Científico Técnico del Vicerrectorado de Investigación de la Universidad de Oviedo. Más concretamente en la unidad de Microscopia Electrónica de la Unidad científico-tecnológica.

Fueron realizados mediante el microscopio electrónico de barrido, modelo MEB JEOL-6610LV (Fig.17) con microanálisis dotado de cañón de electrones de filamento de wolframio, con posibilidad de trabajo de 0,5 a 30 kV y una resolución máxima de 3.0 nm. Desde x5 hasta x50.000 aumentos. Puede trabajar en modos de alto vacío para máxima resolución y de bajo vacío para muestras con humedad o de superficie no conductora. Dotado de detectores de electrones secundarios y de electrones retrodispersados (composición, topografía y sombreado). Pletina eucéntrica mecánica asíncrona de 5 ejes con rotación e inclinación eucéntricas, que puede albergar muestras de hasta 20 cm de diámetro. Totalmente informatizado, se maneja a través de un PC, con auto archivo de imágenes en formatos BMP, TIFF o JPG.





Fig. 17 Fotografía del Microscopio Electrónico de Barrido (JEOL 6610 LV, U. Oviedo)

## **IV. RESULTADOS**



#### 4. RESULTADOS

Mediante el análisis con microscopía electrónica de barrido podemos cuantificar los elementos presentes en el bracket gracias a la relación que hay entre la concentración e intensidad de la radiación de rayos X emitida <sup>(23)</sup>.

Realizamos el estudio en áreas del bracket seleccionadas de manera aleatoria.

- In-Ovation® (DENTSPLY GAC)

Como se observa en la figura 18, tomamos imágenes del bracket In-Ovation a diferentes aumentos.

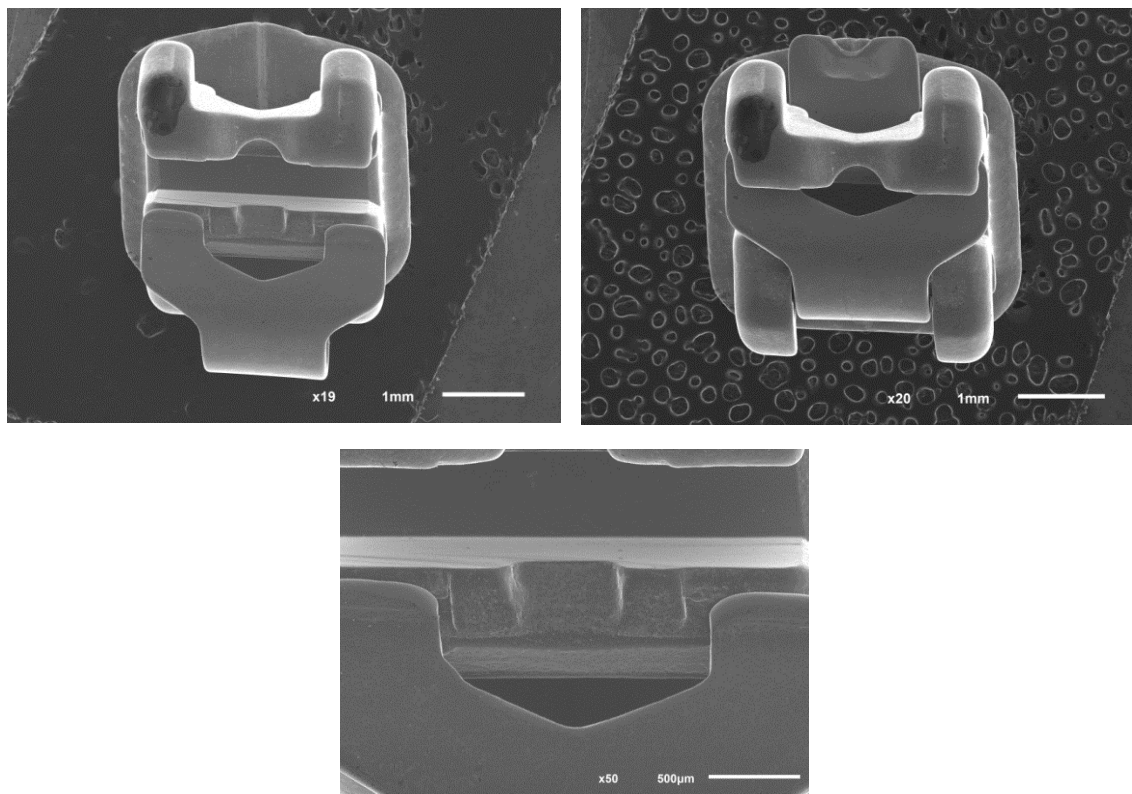
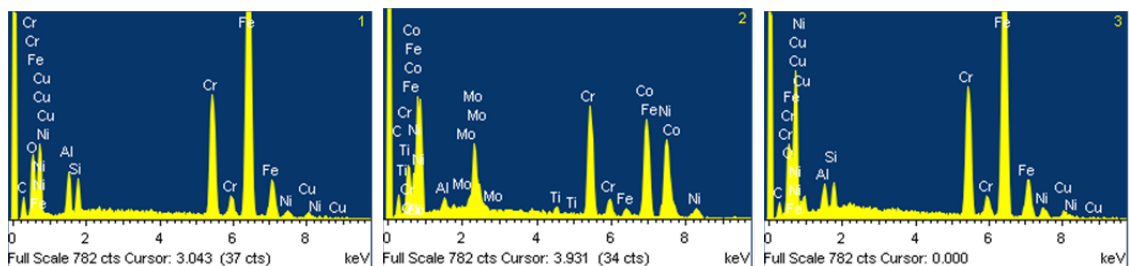
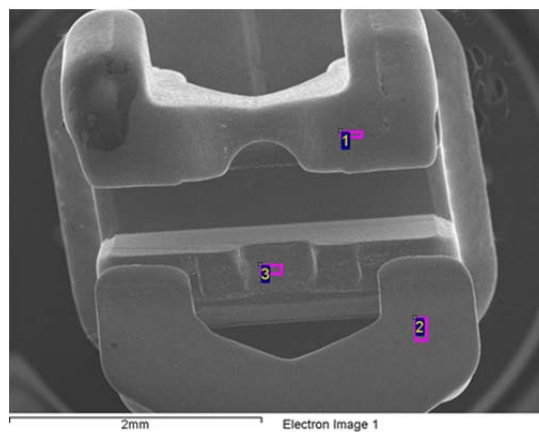


Fig. 18 Imágenes del bracket In-Ovation tomadas a x20 aumentos con el clip cerrado y con el clip abierto a x19 aumentos. En detalle y a x50 aumentos observamos la zona del cierre en relación al slot.

Con los datos recogidos (Fig.19), observamos que el cuerpo del bracket In-Ovation de la casa GAC está compuesto en su mayoría por Fe (57.02-60.83%), Cr (15.89-16.79%) y C (10.26-7.29%)

También aparecen pequeñas cantidades de Aluminio, Níquel, Cobre, Oxígeno.

El clip está formado por Co (26.30%), Ni (24.36%), Cr (16.09%), C (14.8%), Mo (8.72%), O (6.23%), Fe (1.66%), Al (1.05%), Ti (0.8%).



Spectrum	In stats.	C	O	Al	Si	Ti	Cr	Fe	Co	Ni	Cu	Mo	Total
1	Yes	10.26	7.24	2.98	2.23		15.89	57.02		2.03	2.35		100.00
2	Yes	14.80	6.23	1.05		0.80	16.09	1.66	26.30	24.36		8.72	100.00
3	Yes	7.29	6.22	1.81	1.70		16.79	60.83		3.19	2.15		100.00
Max.		14.80	7.24	2.98	2.23	0.80	16.79	60.83	26.30	24.36	2.35	8.72	
Min.		7.29	6.22	1.05	1.70	0.80	15.89	1.66	26.30	2.03	2.15	8.72	

All results in weight%

Fig. 19 Resultados obtenidos del bracket In-Ovation: imagen de las zonas tomadas para las muestras; espectrogramas; y tabla de composiciones.

- SmartClip (3M Unitek)

En la figura 20 observamos el bracket Smart-Clip visto al microscopio a diferentes aumentos.

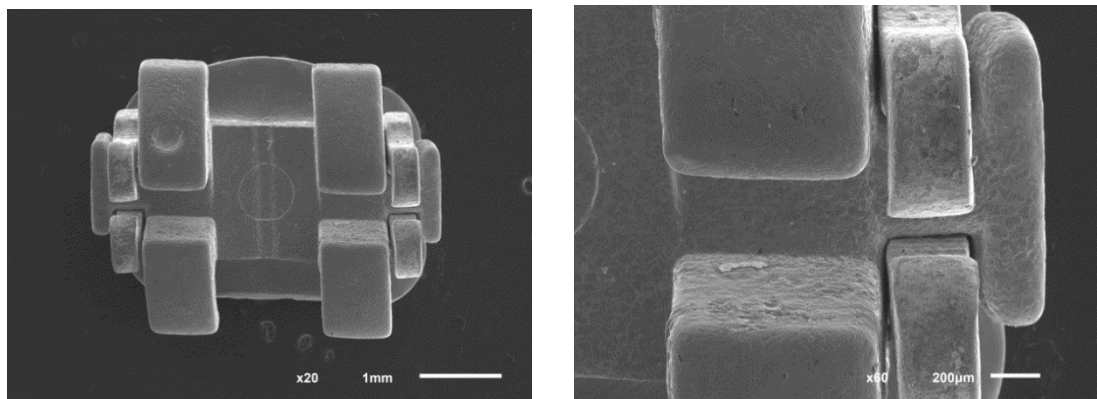
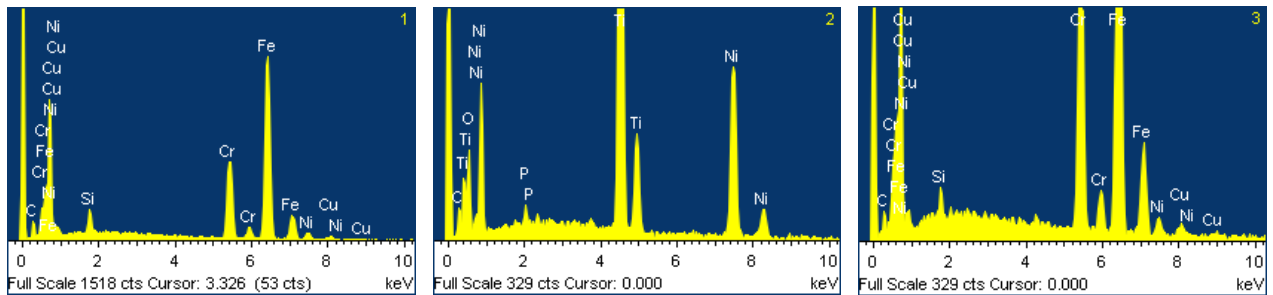
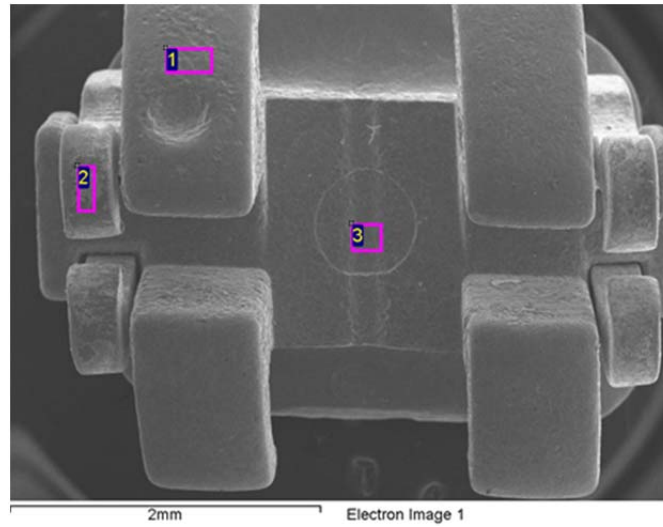


Fig. 20 Imágenes del bracket Smart-Clip tomadas a x20 y x60 aumentos.

En la figura 21 vemos las zonas escogidas para el análisis y los datos sobre la composición exacta. Podemos afirmar que el cuerpo del bracket Smart Clip de la casa 3M está compuesto en su mayoría por Fe (62.67-69.74%), Cr 16.47-19.28%) y C (5.13-13.22%).

También aparecen pequeñas cantidades de Si, Ni y Cu.

El clip está formado por Ti (44.08%), Ni (30.10%), O (19.63%), C (5.56%), P (0.63%)



Spectrum	In stats.	C	O	Si	P	Ti	Cr	Fe	Ni	Cu	Total
1	Yes	13.22		2.37			16.47	62.67	3.10	2.17	100.00
2	Yes	5.56	19.63		0.63	44.08			30.10		100.00
3	Yes	5.13		1.03			19.28	69.74	2.66	2.16	100.00
Max.		13.22	19.63	2.37	0.63	44.08	19.28	69.74	30.10	2.17	
Min.		5.13	19.63	1.03	0.63	44.08	16.47	62.67	2.66	2.16	

All results in weight%

Fig. 21 Resultados obtenidos del bracket Smart-Clip: imagen de las zonas tomadas para las muestras; espectrogramas; y tabla de composiciones.

- **Carriere® SLB (Class One Orthodontics)**

Del Bracket Carriere se tomaron diversas imágenes con la tapa abierta y cerrada, tal y como se muestra en las figuras 22 y 23.

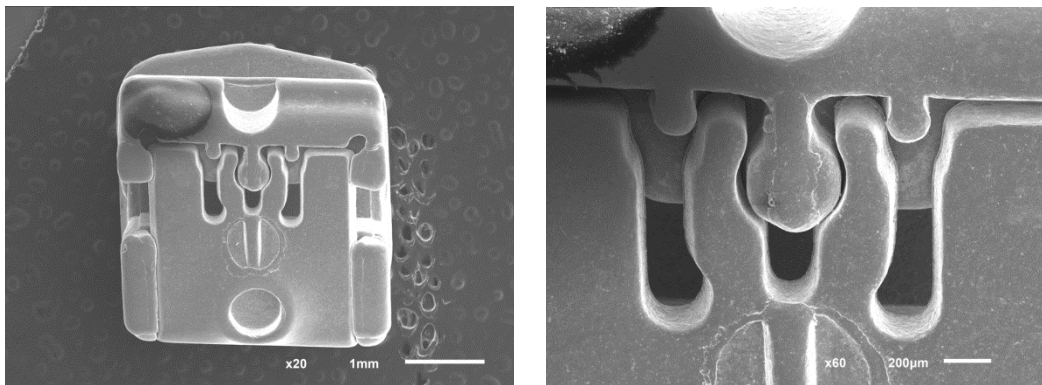


Fig. 22 Imágenes del bracket Carriere SLB con la tapa cerrada tomadas a x20 y a x60 aumentos.

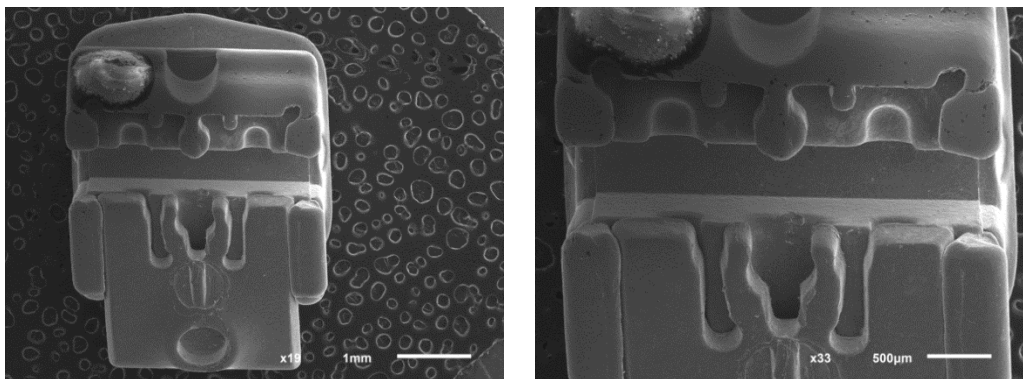


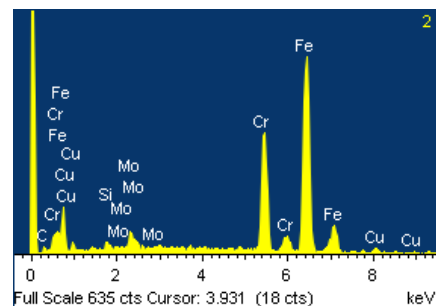
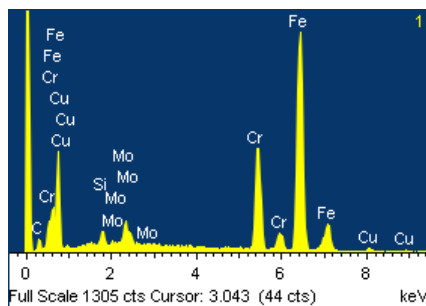
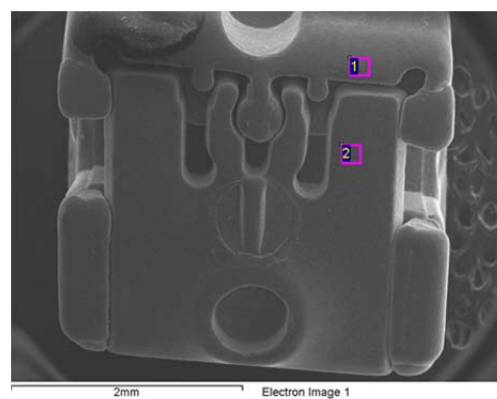
Fig. 23 Imágenes del bracket Carriere SLB con la tapa abierta a x18 y a x33 aumentos.

En las figuras 24 y 25 aparecen reflejados los datos recogidos del bracket Carriere de las zonas escogidas para el estudio, bien con la tapa cerrada y con la tapa abierta. Podemos afirmar que tanto el cuerpo como la tapa de cierre del bracket Carriere® SLB de la casa Class One Orthodontics tienen una composición similar, conteniendo en su mayoría Fe (27.98-64.05%), Cr (19.69-23.69%) y C (5.27-40.11%).



También aparecen pequeñas cantidades de Si, Cu y Mo (este último solo en las muestras del cuerpo del bracket).

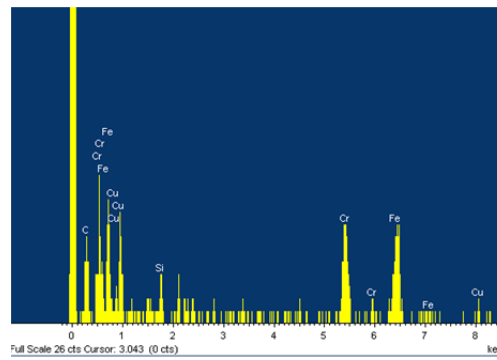
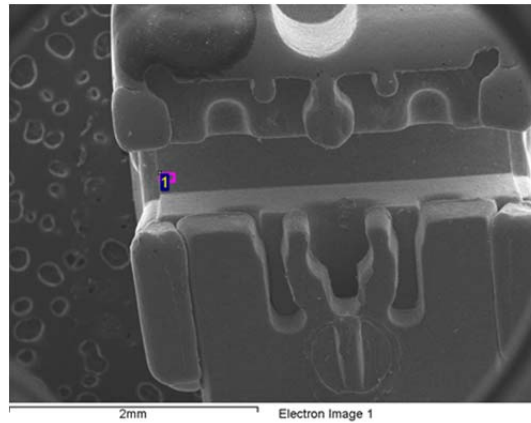
En este caso, llama la atención la cantidad elevada de C (40.11%) encontrada en la zona interna, en el slot del bracket Carriere® SLB.



Spectrum	In stats.	C	Si	Cr	Fe	Cu	Mo	Total
1	Yes	8.94	1.15	19.69	64.05	1.91	4.27	100.00
2	Yes	5.27	0.71	23.69	63.02	3.46	3.85	100.00
Mean		7.10	0.93	21.69	63.54	2.68	4.06	100.00
Std. deviation		2.59	0.31	2.83	0.73	1.10	0.30	
Max.		8.94	1.15	23.69	64.05	3.46	4.27	
Min.		5.27	0.71	19.69	63.02	1.91	3.85	

All results in weight%

Fig. 24 Resultados obtenidos del bracket Carriere SLB (cerrado): imagen de las zonas tomadas para las muestras; espectrogramas; y tabla de composiciones.



Spectrum	In stats.	C	Si	Cr	Fe	Cu	Total
1	Yes	40.11	4.00	20.50	27.98	7.40	100.00
Mean		40.11	4.00	20.50	27.98	7.40	100.00
Std. deviation		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Max.		40.11	4.00	20.50	27.98	7.40	
Min.		40.11	4.00	20.50	27.98	7.40	

All results in weight%

Fig. 25 Resultados obtenidos del bracket Carriere SLB (abierto): imagen de las zonas tomadas para las muestras; espectrogramas; y tabla de composiciones.

- **Damon Q (Ormco)**

Del bracket Damon se tomaron las siguientes imágenes (Fig. 26)

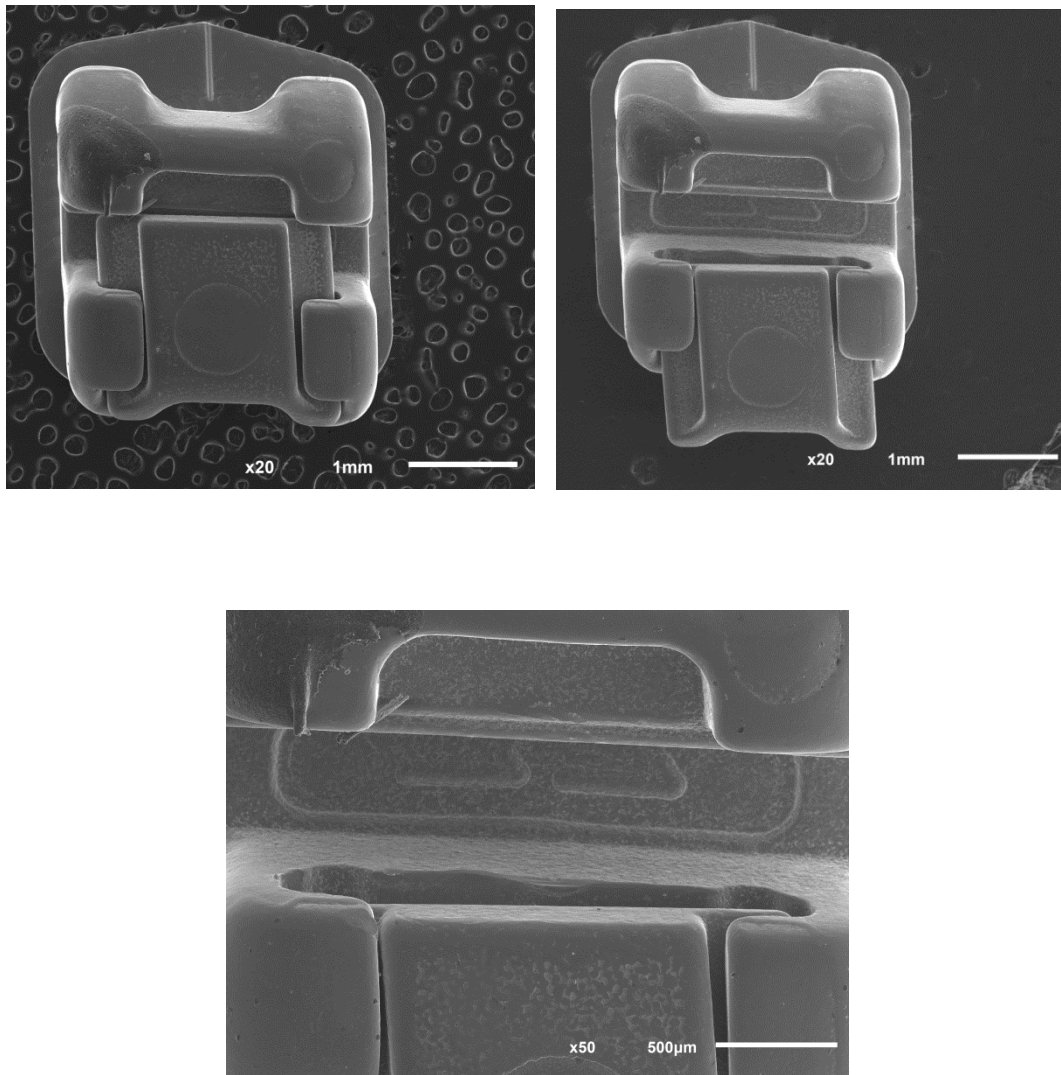
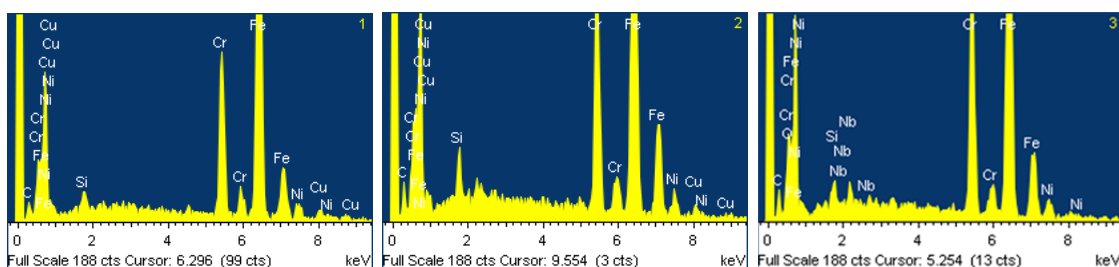
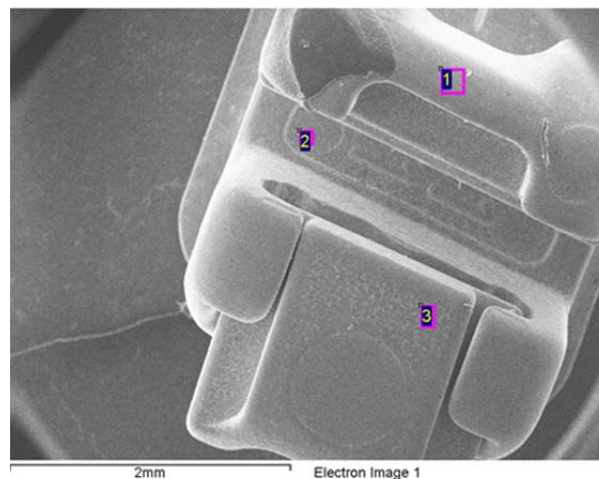


Fig. 26 Imágenes del bracket Damon con la tapa cerrada/abierta tomadas a x20 aumentos. En detalle y a x50 aumentos la zona del clip de cierre.

Con los datos obtenidos en nuestro estudio, recogidos en la figura 27, podemos afirmar que tanto el cuerpo como la tapa de cierre del bracket Damon Q de la casa Ormco tienen una composición similar. El cuerpo contiene en su mayoría Fe (63.98-69.29%) y Cr (16.86-17.98%). También aparecen pequeñas cantidades de C, Si, Cu y Ni.

El clip está formado por Fe (63.98%), Cr (17.98%), C (6.61%), O (5.27%), Ni (3.24%), Nb (2.15%), Si (0.76%). Observamos O y Nb, no presentes en el cuerpo del bracket.



Spectrum	In stats.	C	O	Si	Cr	Fe	Ni	Cu	Nb	Total
1	Yes	6.68		0.80	16.86	69.29	3.86	2.51		100.00
2	Yes	7.82		1.57	17.55	67.79	3.31	1.97		100.00
3	Yes	6.61	5.27	0.76	17.98	63.98	3.24		2.15	100.00
Max.		7.82	5.27	1.57	17.98	69.29	3.86	2.51	2.15	
Min.		6.61	5.27	0.76	16.86	63.98	3.24	1.97	2.15	

All results in weight%

Fig. 27 Resultados obtenidos del bracket Damon: imagen de las zonas tomadas para las muestras; espectrogramas; y tabla de composiciones.

\*A destacar del bracket Damon Q, que como se ve en la figura 28, existe un pequeño artefacto localizado en la zona del slot no permite el correcto ajuste de la tapa

→ Esto tendrá importantes consecuencias a la hora de expresar la prescripción.

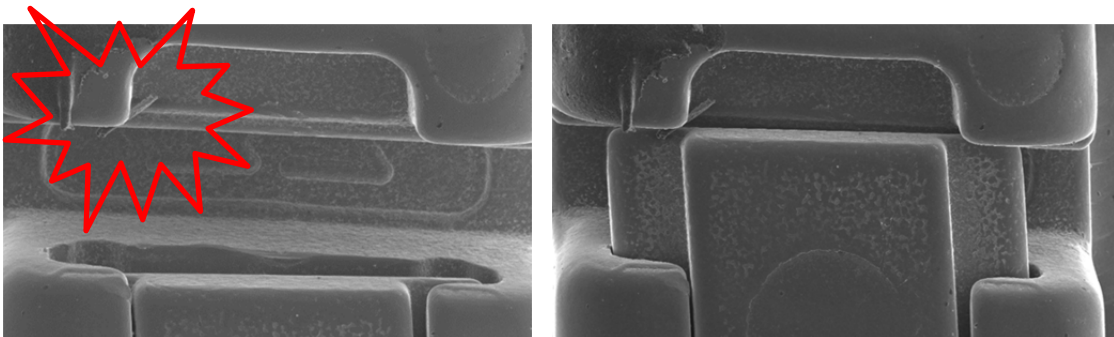


Fig. 28 Detalle del artefacto encontrado en el slot del bracket Damon.

- **Agility (ODP, Vista, California)**

Del bracket Agility se tomaron las imágenes que aparecen en la figura 29.

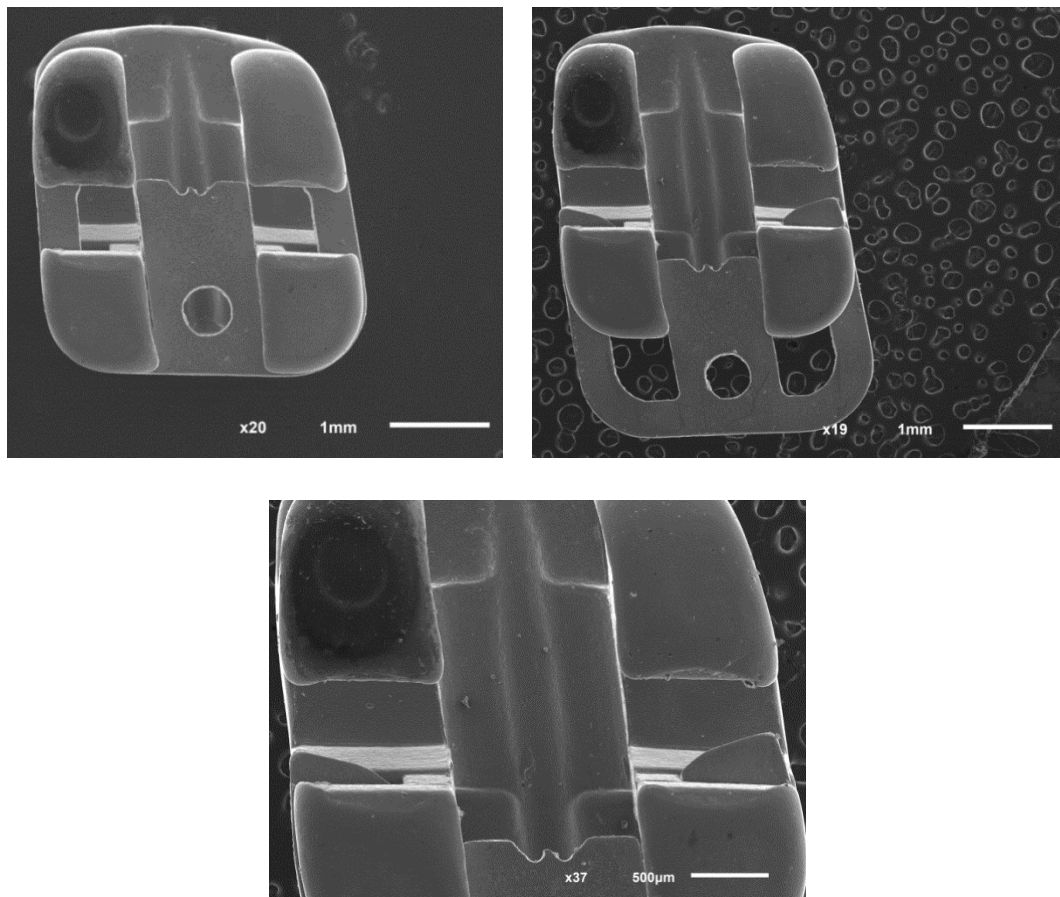
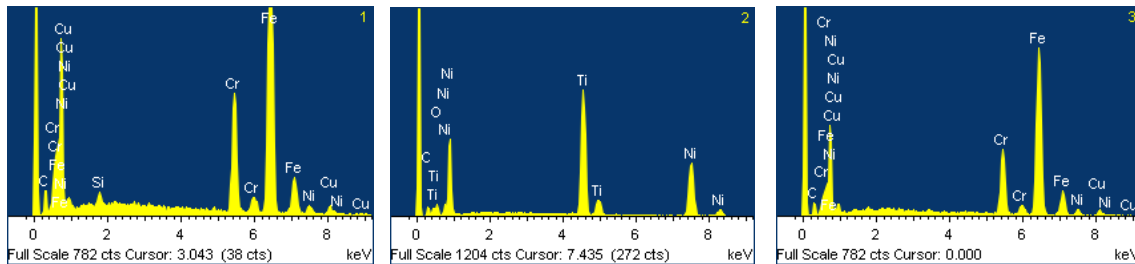
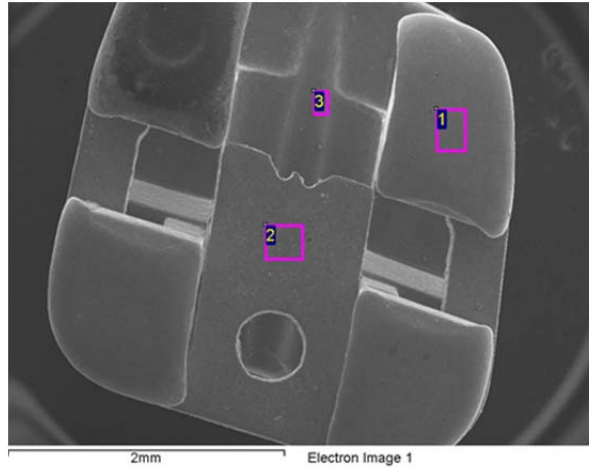


Fig. 29 Imágenes del bracket Agility con la tapa cerrada tomada a x20 aumentos y abierta a x19 aumentos. En detalle y a x37 aumentos observamos la zona del cierre.

Con los datos recogidos (Fig.30) podemos afirmar que el cuerpo del bracket Agility (ODP, Vista, California) está compuesto en su mayoría por Fe (65.71-66.51%), Cr (15.63-16.43%) y C (11-11.91%). También aparecen cantidades inferiores de Si, Ni y Cu.

El clip está formado por Ni (44.69%), Ti (36.18%), C (9.78%), O (9.35%).



Spectrum	In stats.	C	O	Si	Ti	Cr	Fe	Ni	Cu	Total
1	Yes	11.91		0.80		16.43	65.71	2.43	2.72	100.00
2	Yes	9.78	9.35		36.18			44.69		100.00
3	Yes	11.00				15.63	66.51	3.72	3.15	100.00
Max.		11.91	9.35	0.80	36.18	16.43	66.51	44.69	3.15	
Min.		9.78	9.35	0.80	36.18	15.63	65.71	2.43	2.72	

All results in weight%

Fig. 30 Resultados obtenidos del bracket Agility: imagen de las zonas tomadas para las muestras; espectrogramas; y tabla de composiciones.

## **V. DISCUSIÓN**





## 5. DISCUSIÓN

La microscopía electrónica de barrido está establecida como un buen método para estudiar la composición elemental de un material.

La composición de los brackets, resulta de máxima importancia por su influencia tanto en las propiedades biológicas (alergias, resistencia a la corrosión, liberación iónica) como en las mecánicas (fricción, asentamiento en el slot).<sup>(24,25)</sup>

Es por eso que el proceso de fabricación es determinante a la hora de establecer la estructura superficial de los mismos.

### INFLUENCIA EN PROPIEDADES QUÍMICAS

Cash y cols. en 2004 realizaron un estudio en el que encontraron que de los brackets estudiados, un 5-17% estaban sobredimensionados. Hisham M. Badawi y colaboradores<sup>(26)</sup> tampoco descartan que ocurran diferencias en la composición.

Spiros Zinelis en 2005 señaló que “Se espera que los brackets fabricados por inyección estén libres de las consecuencias de la corrosión”. Sin embargo, a pesar de la cantidad de este tipo de brackets existentes en el mercado, no hay información sobre las características estructurales y las propiedades mecánicas de estos aparatos<sup>(27)</sup>.

En cuanto a los porcentajes ideales para evitar fenómenos como la corrosión, Philip en 1973, señaló que el responsable de evitar la corrosión en las aleaciones es el Cr, siendo para ello el porcentaje óptimo de Cr de 16 a 27%. La adición de molibdeno aumenta esa resistencia a la corrosión<sup>(24)</sup>.

Joo Hyoung Kim y colaboradores por su parte en 2012, investigaron las composiciones de los brackets para evaluar su riesgo de corrosión. Detectaron Fe con intervalo de 65,8 a 72,7% en peso en todos los productos. En particular, el Ni se detectó en el 6,4 - 11,9% en peso. Este, en aleaciones de acero inoxidable mejora la ductilidad de los productos, pero en vivo, causa reacciones alérgicas. Los iones de Ni también están altamente relacionados con la resistencia a la corrosión de los metales. Sin

embargo, como anticorrosivo se utiliza principalmente el Cr, ya que forma una densa película protectora (como  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) en la superficie. <sup>(28)</sup>

Existe un número limitado de estudios que han evaluado la biodegradación de los materiales ortodonticos <sup>(29)</sup>, y solo en un caso encontrado, Lucio Henrique y colaboradores en el 2014, no encontraron diferencias entre brackets convencionales y de autoligado en cuanto al proceso de degradación por su exposición al medio oral <sup>(23)</sup>.

### INFLUENCIA EN PROPIEDADES MECANICAS

Según Hisham M. Badawi y colaboradores <sup>(26)</sup>, la cantidad de variaciones entre unos brackets y otros, se debe principalmente al proceso de fabricación, que afecta a la estructura del bracket, sobre todo al tamaño del slot.

Por su parte, Mendes y colaboradores en 2014 <sup>(30)</sup> realizaron un estudio en el que mostraron que los procesos de manufacturación de los brackets metálicos no son perfectos y que pueden dar lugar a brackets que presentan marcas y defectos en su estructura, lo que podría comprometer el ideal asentamiento del arco en el slot.

Nuestro estudio nos ha confirmado que todos los brackets estudiados son de acero, y la composición química mostró la presencia de hierro (Fe) como elemento principal, seguido por cromo (Cr) y carbono (C).

Tras realizarlo, hemos procedido a comparar nuestros resultados, con los datos facilitados por las casas comerciales, teniendo en cuenta que nos indican que todos son elaborados por el metodo de inyección.

*\*La comparación se ha llevado a cabo teniendo en cuenta los valores máximos de porcentaje en peso de cada elemento químico.*

- **In-Ovation® (DENTSPLY GAC)**

Los datos facilitados por la casa comercial indican que el bracket **In-Ovation** se fabrica por el método de inyección.

La composición enviada se muestra en la figura 28 y es la siguiente:

- Cuerpo del bracket: 15-45% niobio (Nb) y el resto hierro (Fe).
- Clip: 30-45% Cobalto, 10-20% Níquel, 8-15% Cromo, 0.3% Carbono, 3-12% Molibdeno, 3-5% Tungsteno, 1-2% Titanio, 1-2% Manganeso, 2% silicona y el resto hierro.



Fig. 28 Email recibido de GAC con la composición del bracket In-Ovation.

En las figuras 29 y 30 observamos la comparación de los datos recibidos por la GAC con los obtenidos en nuestro estudio.

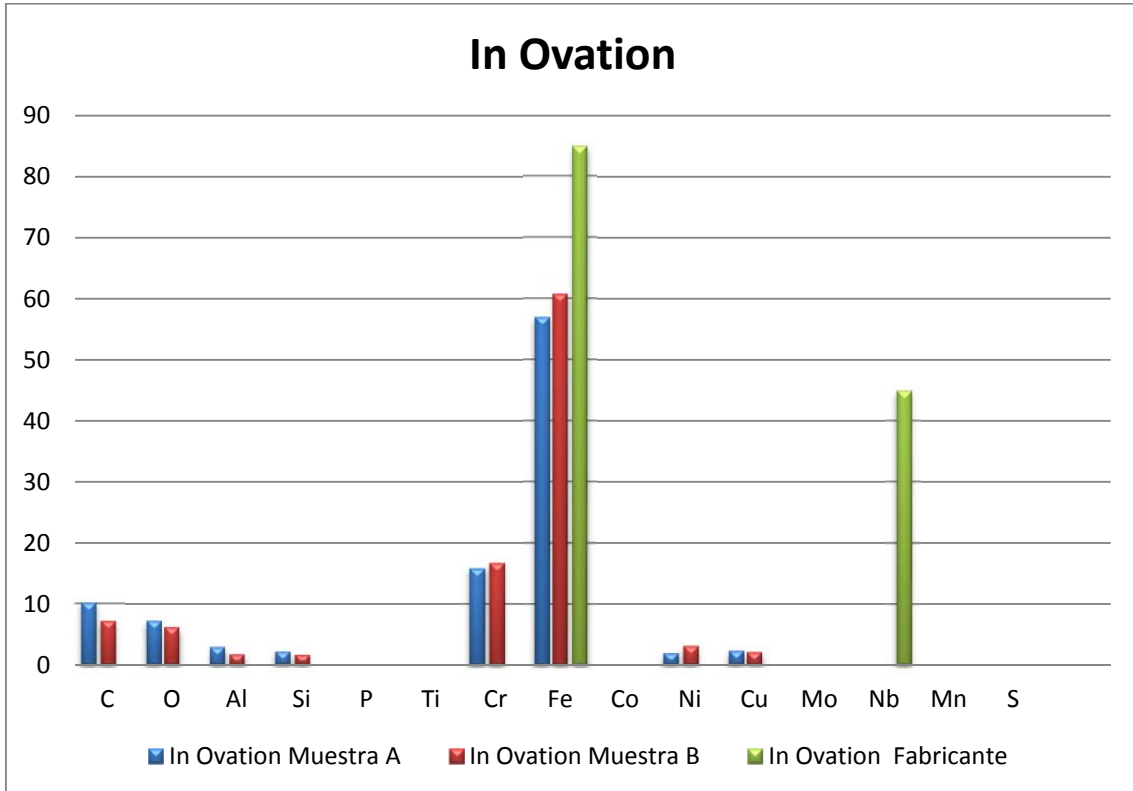


Fig. 29 Comparación de la composición del cuerpo del bracket In-Ovation

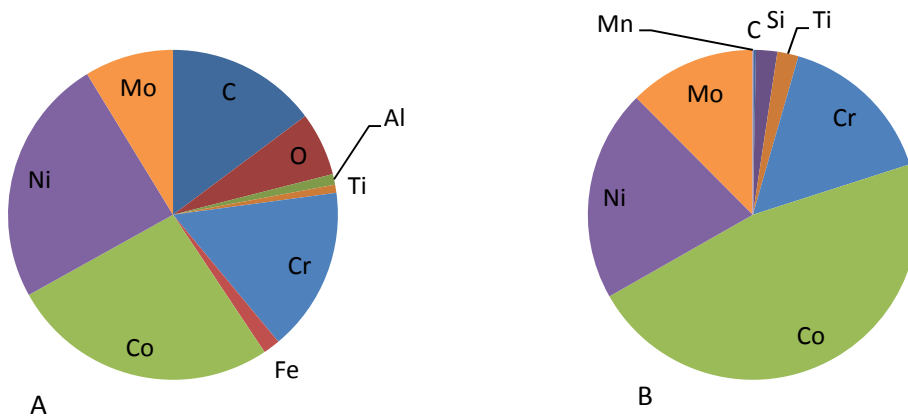


Fig. 30 Comparación de nuestros resultados (A) con los facilitados por la GAC (B) sobre la composición del clip del bracket In-Ovation

- **SmartClip (3M Unitek)**

Desde la casa comercial nos indican que la fabricación del bracket **Smart-Clip** es por el método de inyección y que posteriormente se ensamblan los clips.

La composición que nos envían tal y como se muestra en la figura 31 es la siguiente:

- Cuerpo: Fe~72.6%, Cr 17%, Ni 4%, Cu 4%, Nb+ Ta 0.3%, Si <1%, Mn <1%, C <0.07%, P <0.04%, S <0.03%.
- Clip de: Ni 56% y Ti 44%.

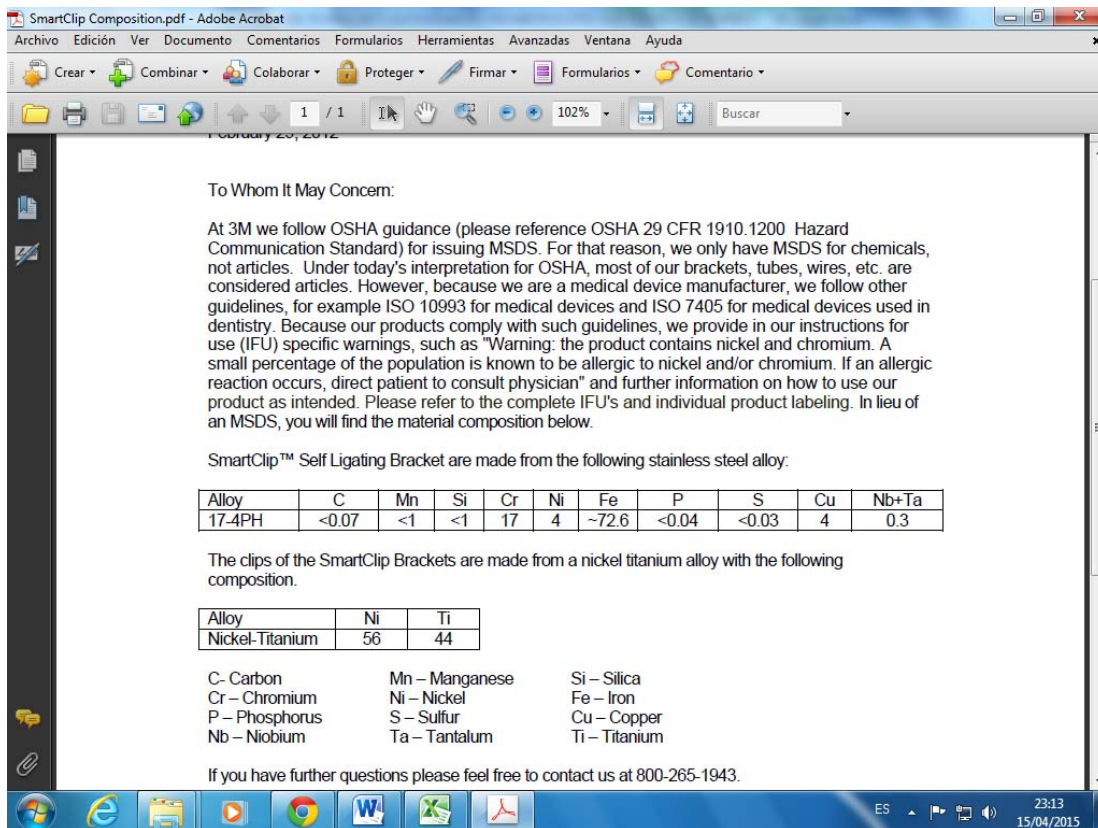


Fig. 31 Información recibida de 3M con la composición del bracket Smart-Clip.

En las figuras 32 y 33 observamos la comparación de los datos recibidos por la 3M con los obtenidos en nuestro estudio.

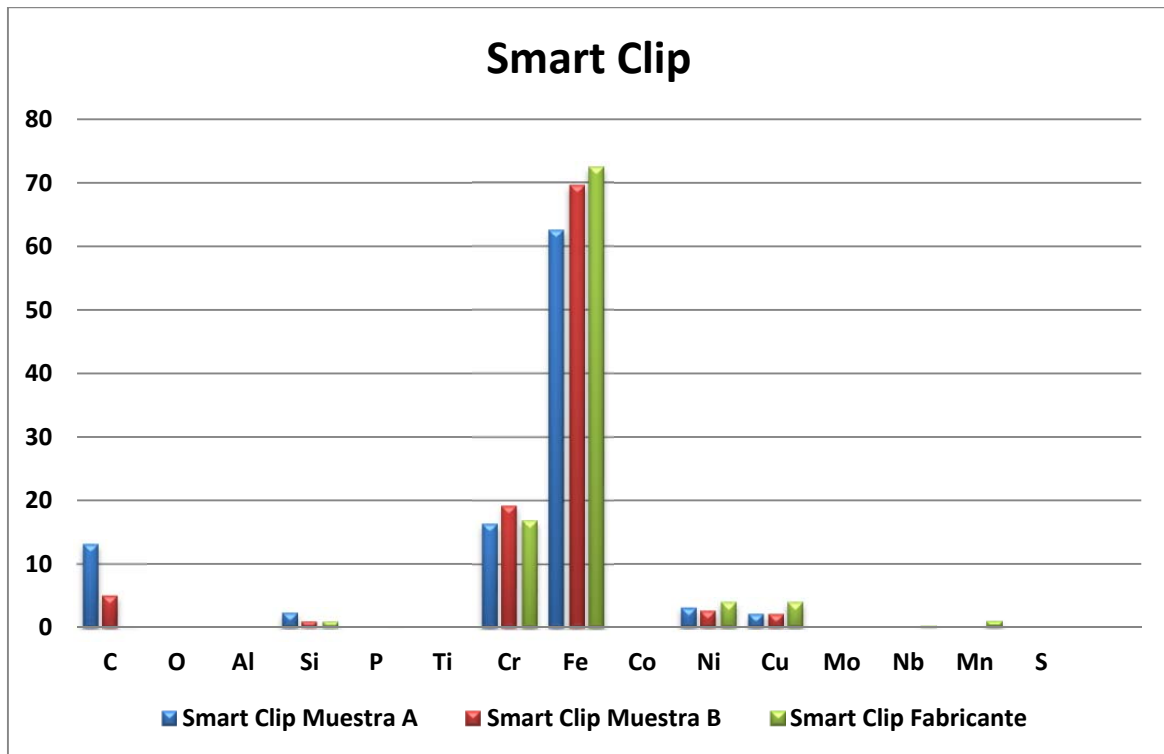


Fig. 32 Comparación de la composición del cuerpo del bracket Smart-Clip.

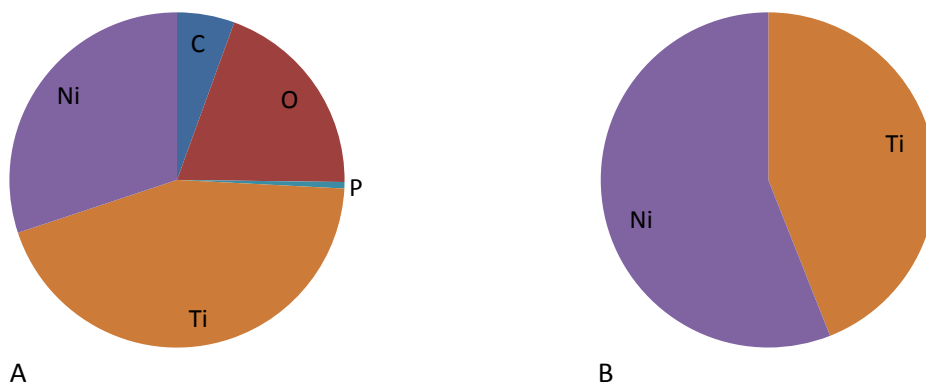
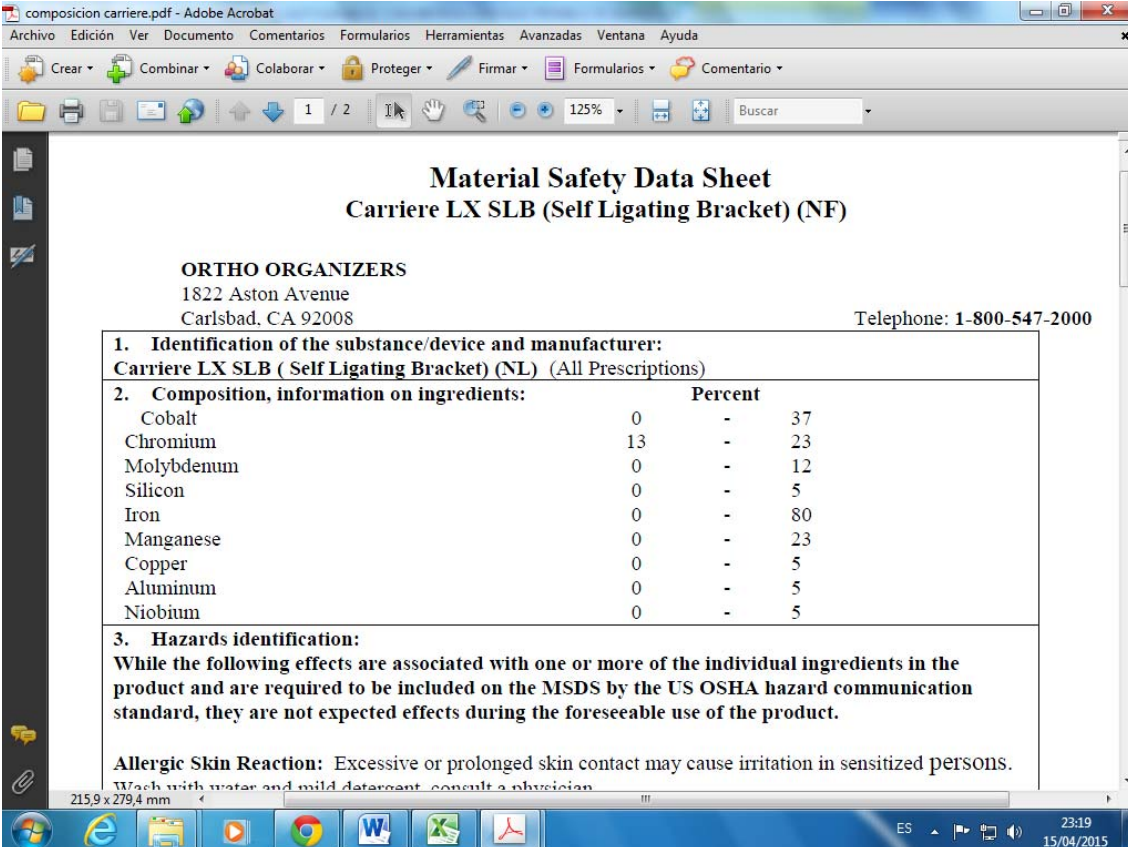


Fig. 33 Comparación de nuestros resultados (A) con los facilitados por la 3M (B) sobre la composición del clip del bracket Smart-Clip.

- **Carriere® SLB (Class One Orthodontics)**

La información que nos envían es que el bracket **Carriere** está fabricado mediante el método de inyección, y la composición es la que se muestra en la figura Fig.34.



**Material Safety Data Sheet**  
**Carriere LX SLB (Self Ligating Bracket) (NF)**

**ORTHO ORGANIZERS**  
 1822 Aston Avenue  
 Carlsbad, CA 92008  
 Telephone: 1-800-547-2000

**1. Identification of the substance/device and manufacturer:**  
 Carriere LX SLB ( Self Ligating Bracket) (NL) (All Prescriptions)

**2. Composition, information on ingredients:**

	Percent	
Cobalt	0	37
Chromium	13	23
Molybdenum	0	12
Silicon	0	5
Iron	0	80
Manganese	0	23
Copper	0	5
Aluminum	0	5
Niobium	0	5

**3. Hazards identification:**  
 While the following effects are associated with one or more of the individual ingredients in the product and are required to be included on the MSDS by the US OSHA hazard communication standard, they are not expected effects during the foreseeable use of the product.

**Allergic Skin Reaction:** Excessive or prolonged skin contact may cause irritation in sensitized persons.  
 Wash with water and mild detergent, consult a physician.

Fig. 34 Composición del bracket Carriere.

En las imágenes 35 y 36 observamos la comparación de los datos de nuestro estudio y los recibidos por Class One.



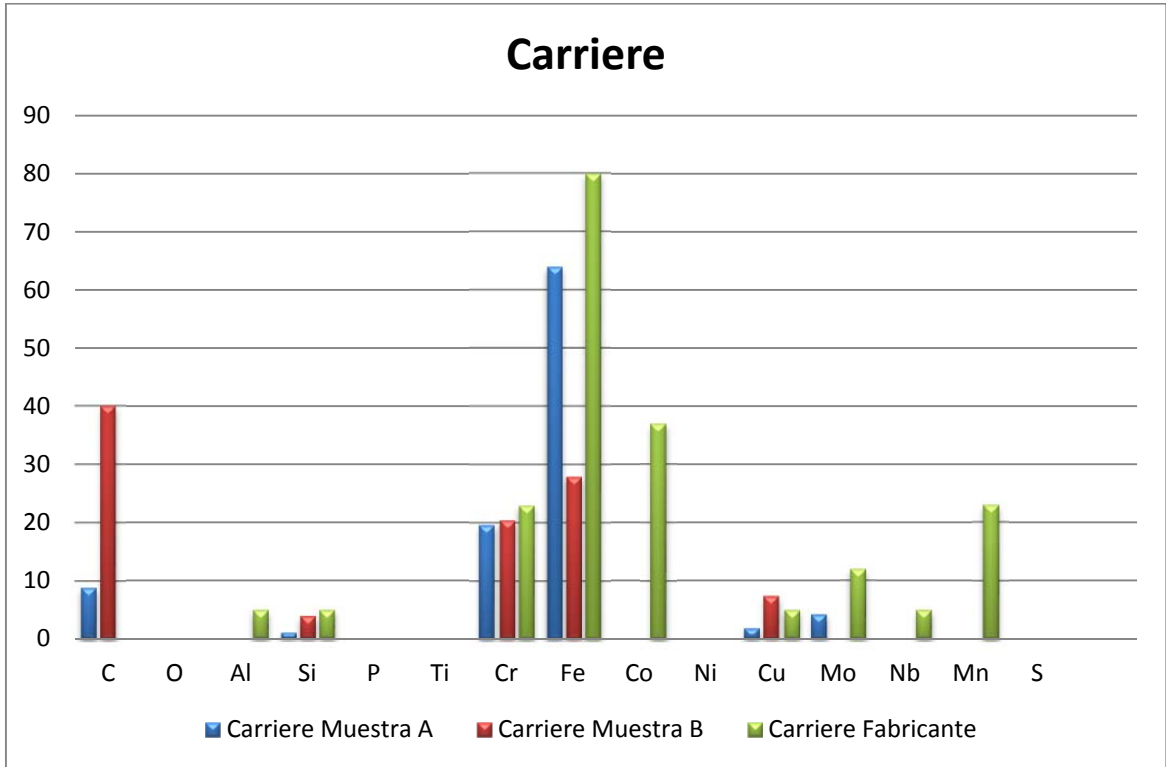


Fig. 35 Comparación de la composición del cuerpo del bracket Carriere.

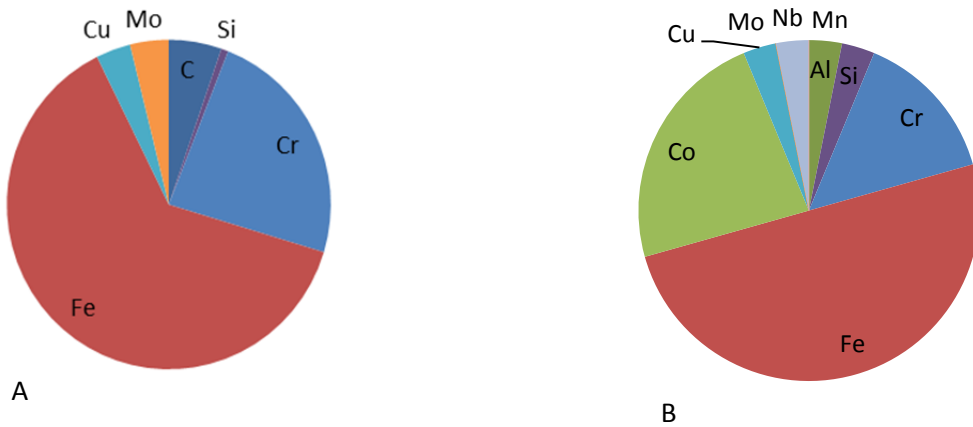


Fig. 36 Comparación de nuestros resultados (A) con los facilitados por Ortho Organizers (B) sobre la composición del clip del bracket Carriere.

• **Damon Q (Ormco)**

Desde Ormco nos remiten que la fabricación del bracket **Damon** es por el método de inyección. Y la composición que nos envían es la que se muestra en la figura 37:

Product	Compositional Elements						% Maximum units unless otherwise shown					
	Alloy	UNS No.	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Ti	Balance	Others	Density
<b>BANDS</b>												
Stainless Steel	305	S30500	0.12	2	1	17.0/19.0	10.5/13.0			Fe		.290
D Clear	303SE	S30323	0.15	2	1	17.0/19.0	8.0/10.0			Fe		.290
D Clear	Ni/Ti		0.06			0.20	54.90			Ti		.203
D2/D3Mx/DQ Drop in hooks	17-4 PH	S17400	0.07	1	1	15.5/17.5	3.0/5.0			Fe	Cu 3.0-5.0 Nb 0.15-0.45 P 0.04 / S 0.03	.280
D3	Metal 17-4 PH	S17400	0.07	1	1	15.5/17.5	3.0/5.0			Fe	Cu 3.0-5.0 Nb 0.15-0.45 P 0.04 / S 0.03	.280
	steric		0.15	2	1	12	7			73	Poly-propane carbonate 40-60% E-type glass fiber 20%	
Titanium	N/A	N/A				<0.1				>99.0		
NEXUS Metal	104456		0.2	10-12	1	16-20	03	1.8-3.5		Fe	Phosphorous 0.05	
NEXUS Clear clip			0.30	1-3		15-30	14-16	6-8		Fe	Co 38-42 Be 0.01-0.09	

Fig. 37 Información recibida de Ormco con la composición del bracket Damon.

En las imágenes 38 y 39 observamos la comparación de los datos de nuestro estudio y los recibidos por Ormco respecto a la composición del bracket.

Observamos que los elementos principales coinciden bastante pero no así los secundarios.

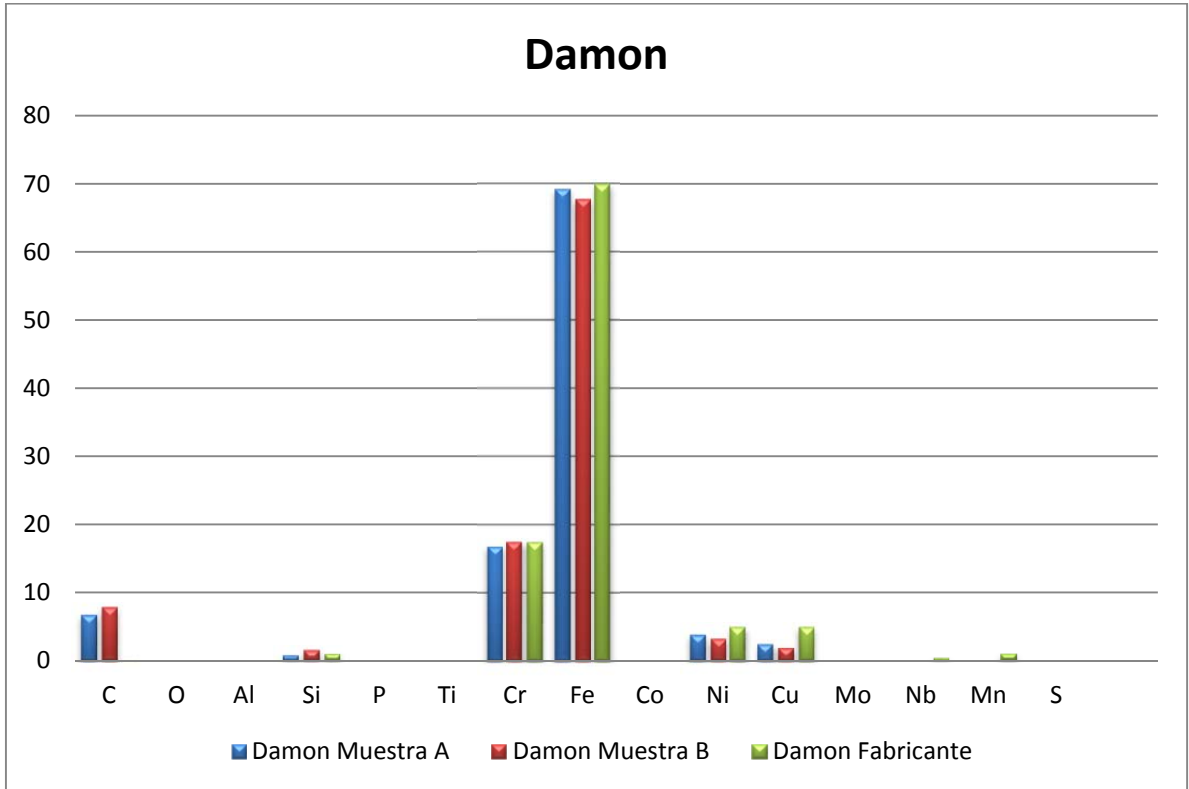


Fig. 38 Comparación de la composición del cuerpo del bracket Damon.

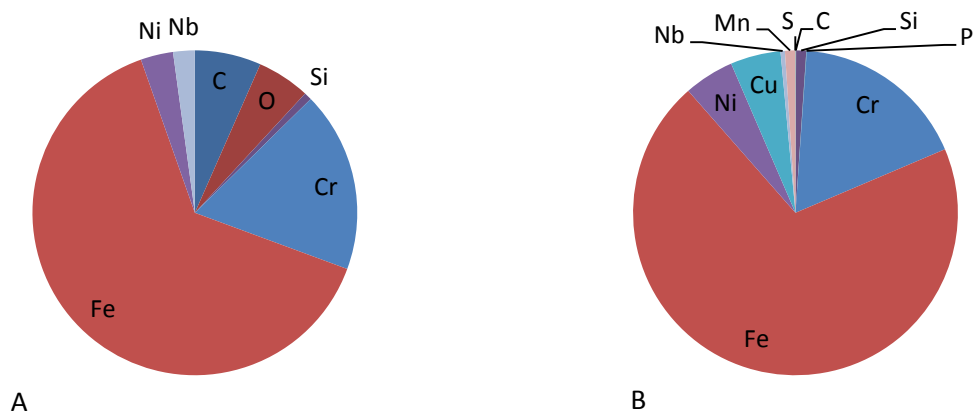


Fig. 39 Comparación de nuestros resultados con los facilitados por Ormco sobre la composición del clip del bracket Damon.

- **Agility (ODP, Vista, California)**

Desde la casa comercial nos facilitan que la fabricación del bracket **Agility** es por el método de inyección. Y la composición enviada es la que aparece en la figura 40:

**1-PRODUCT DESCRIPTION/CHEMICAL COMPONENTS**

Product Name: 17-4 pH Stainless Steel

Component .....	% In Product
Fe.....	Balance
*# Cr.....	15.3
Ni .....	4.61
*Mn .....	0.72
Si.....	0.65
C .....	0.06
P .....	0.017
S .....	0.006
Mo.....	0.11
Nb .....	0.24
Cu .....	4.33

A

**2-COMPOSITION INFORMATION**

Component	CAS #	%
Nickel	7440-02-0	50-70%
Titanium	7440-32-6	30-50%
Niobium	7440-03-1	10-20%
Copper	7440-50-8	5-10%
Iron	7439-89-6	1-5%
Cobalt	7440-48-4	1-5%
Chromium	7440-47-3	<3.0%

B

Fig. 40 Información recibida de ODP con la composición del A) bracket y B) clip Agility.

En las figuras 41 y 42 se muestra la comparación de los datos sobre la composición tanto del cuerpo como del bracket de nuestro estudio con la enviada por parte de ODP.

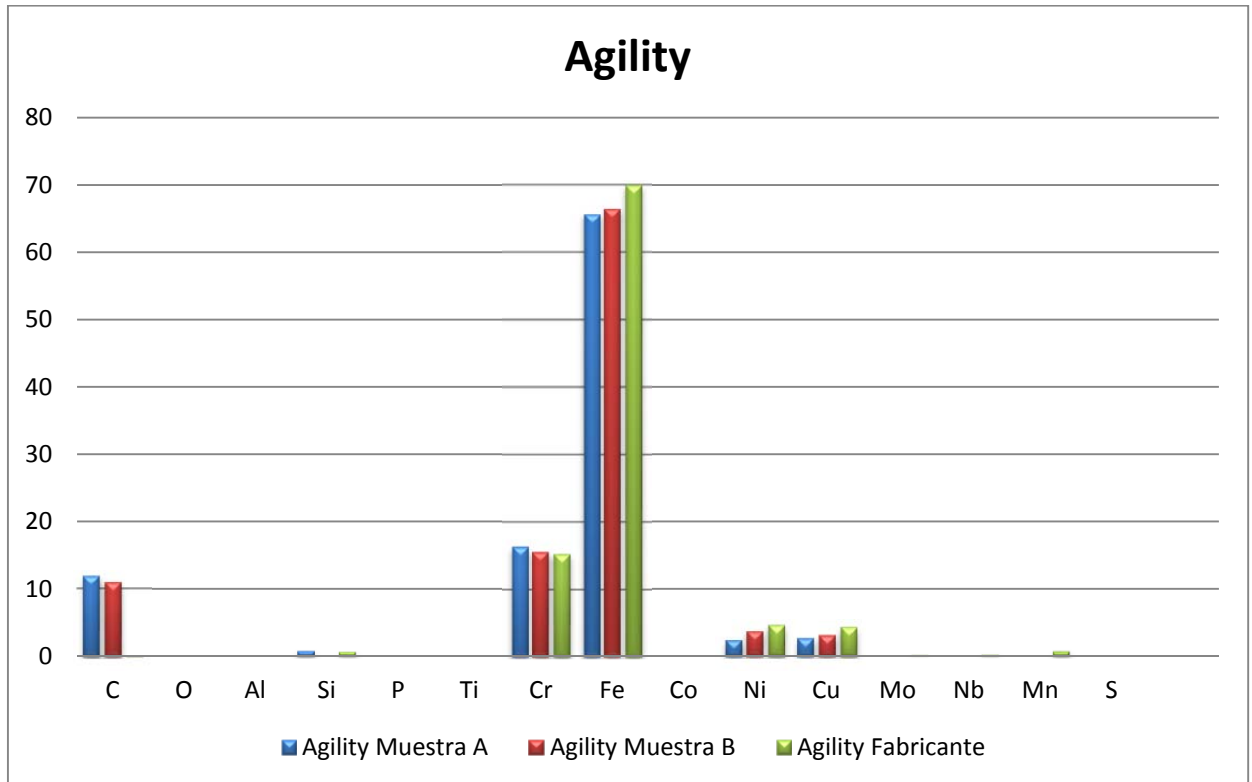


Fig. 41 Comparación de la composición del cuerpo del bracket Agility.



Fig. 42 Comparación de nuestros resultados con los facilitados por ODP sobre la composición del clip del bracket Agility.

A la vista de los resultados de nuestro estudio parece claro que la fase de producción carece de la calidad en un principio esperada, y por tanto se requieren especificaciones exactas en relación a la composición de los brackets existentes en el mercado.

Lo que se nos envía desde las casas comerciales difiere de lo que nosotros encontramos en el análisis. Por ello, habría que plantear futuras líneas de investigación para analizar si los brackets existentes en el mercado cumplen los requisitos de fabricación establecidos. Sería necesario realizar estudios con brackets del mismo y de diferentes lotes y obtener un mayor número de datos teniendo más puntos de muestra.



## **VI. CONCLUSIONES**





## 6. CONCLUSIONES

1. La microscopía electrónica de barrido constituye un método fiable para estudiar la composición de los brackets.
2. Todos los brackets estudiados resultaron ser NO homogéneos en su composición química, lo cual puede tener implicaciones clínicas.
3. El Fe, Cr y C son los principales componentes de los cuerpos de los brackets independientemente de la casa comercial. Los principales componentes de los clips son como en el cuerpo, el Fe, Cr y C, o el Ni y el Ti.
4. A pesar de que los brackets no han sido utilizados ni tratados previamente, se aprecia un artefacto en la zona de cierre del bracket Damon Q que impide su correcto cierre.
5. Los resultados de nuestro estudio difieren de los datos facilitados por las casas comerciales, por lo que deberíamos realizar estudios con brackets de mismos lotes y más puntos de muestra y verificar si se cumplen los requisitos.



## **VII. BIBLIOGRAFÍA**



## 7. BIBLIOGRAFÍA

1. - Nikolaos Pandis, Argy Polychronopoulou, and Theodore Eliades. "Self-ligating vs conventional brackets in the treatment of mandibular crowding: A prospective clinical trial of treatment duration and dental effects." *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2007; 132: 208-15.
2. - Nikolaos Pandis and Peter G. Miles. "Treatment Efficiency with Self-Ligating Brackets: The Clinical Evidence". *Semin Orthod* 2010;16:258-265.
3. - Kristina Johansson; Fredrik Lundstrom. "Orthodontic treatment efficiency with self-ligating and conventional edgewise twin brackets. A prospective randomized clinical trial." *Angle Orthod.* 2012;82:929–934.
4. - Padhraig S. Fleming and Kevin O'Brien/ Nigel Harradine. "Self-Ligating brackets do not increase treatment efficiency" / "Self-Ligating brackets increase treatment efficiency" *Am Journal Orthod Dentofacial Orthop* January 2013; vol 143: issue 1.
5. - Stephanie Shih-Hsuan Chen, Geoffrey Michael Greenlee, Jihyun-Elizabeth Kim, Craig L. Smith, and Greg J. Huang; Seattle, Wash. "Systematic review of self-ligating brackets." *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2010;137:726.e1-726.e18.
6. - Nikolaos Pandis, Padhraig S. Fleming, Loukia M. Spinelis and Georgia Salanti. Corfu and Ioannina, Greece, Bern, Switzerland, and London, United Kingdom. "Initial orthodontic alignment effectiveness with self-ligating and conventional appliances: A network meta-analysis in practice". *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2014;145:S152-63.
7. - Ferdinand M. Machibya; Xingfu Bao; Lihua Zhao; Min Hu. "Treatment time, outcome, and anchorage loss comparisons of self-ligating and conventional brackets". *Angle Orthod.* 2013;83:280–285.

8. - S. Jack Burrow, Charlotte, NC. "Friction and resistance to sliding in orthodontics: A critical review". *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2009;135: 442-7).
9. - Sennay Stefanos, Antonino G. Secchi, Guy Coby, Nipul Tanna, and Francis K. Manted. Philadelphia. "Friction between various self-ligating brackets and archwire couples during sliding mechanics". *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* October 2010; 138:463-7.
10. - Raquel Morais CASTRO, Perrin SMITH NETO, Martinho Campolina Rebello HORTA, Matheus Melo PITHON, Dauro Douglas OLIVEIRA. "Comparison of static friction with self-ligating, modified slot design and conventional brackets". *J Appl Oral Sci.* 2013;21(4):314-9.
11. - Vanessa Vieira Leite, Murilo Baena Lopes, Alcides Gonini Júnior, Marcio Rodrigues de Almeida, Sandra Kiss Moura, Renato Rodrigues de Almeida. "Comparison of frictional resistance between self-ligating and conventional brackets tied with elastomeric and metal ligature in orthodontic archwires". *Dental Press J Orthod.* 2014 May-June;19 (3):114-9.
12. - Padhraig S. Fleming, Robert T. Lee, Valeria Marinho, and Ama Johala London, United Kingdom. "Comparison of maxillary arch dimensional changes with passive and active self-ligation and conventional brackets in the permanent dentition: A multicenter, randomized controlled trial." *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2013;144:185-93.
13. - Nikolaos Pandis, Argy Polychronopoulou, and Theodore Eliades. Corfu, Athens, and Thessaloniki, Greece. "Self-ligating vs conventional brackets in the treatment of mandibular crowding: A prospective clinical trial of treatment duration and dental effects." *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2007;132:208-15.
14. - Alan Petersen; Sheldon Rosenstein; Ki Beom Kim; Heidi Israel. "Force Decay of Elastomeric Ligatures: Influence on Unloading Force Compared to Self-Ligation". *Angle Orthod.* 2009;79: 934-938.

15. - Mona A. Montasser, Tarek El-Bialy, Ludger Keilig, Susanne Reimann, Andreas Jager, and Christoph Bourauel. "Force levels in complex tooth alignment with conventional and self-ligating brackets." *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2013;143:507-14.
16. - Lorenzo Franchi, Tiziano Baccetti, Matteo Camporesi, and Veronica Giuntini. "Forces released by nonconventional bracket or ligature systems during alignment of buccally displaced teeth" (*Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2009;136:316.e1-316.e6)
17. - Leonard Euler Andrade Gomes do Nascimento, Matheus Melo Pithon, Rogerio Lacerda dos Santos, Amanda Osorio Ayres Freitas, Daniela Sales Alviano, Lincoln Issamu Nojima, Matilde Cunha G. Nojima, and Antonio Carlos de O. Ruellas; "Colonization of *Streptococcus mutans* on esthetic brackets: Self-ligating vs conventional." *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2013;143:S72-7.
18. - Peter Pellegrini, Rebecca Sauerwein, Tyler Finlayson, Jennifer McLeod, David A. Covell, Jr, Tom Maier, and Curtis A. Machida; "Plaque retention by self-ligating vs elastomeric orthodontic brackets: Quantitative comparison of oral bacteria and detection with adenosine triphosphate-driven bioluminescence." *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2009;135:426.e1-426.e9.
19. - Slavica Pejda; Marina Lapter Varga; Sandra Anic Milosevic; Senka Mestrovic; Martina Slaj; Dario Repic; Andrija Bosnjak. "Clinical and microbiological parameters in patients with self-ligating and conventional brackets during early phase of orthodontic treatment." *Angle Orthod.* 2013;83:133-139.
20. - Nigel Harradine. "The History and development of Self-Ligating Brackets". (*Semin Orthod* 2008; 14:5-18.)
21. - Alexandra Ioana HOLST, Stefan HOLST, Ursula HIRSCHFELDER, Volker von SECKENDORFF. "Retrieval analysis of different orthodontic brackets: the applicability of electron microprobe techniques for determining material heterogeneities and corrosive potential". *J Appl Oral Sci.* 2012;20(4):478-85.



22. - Gómez Arcila V, Fang Mercado L, Herrera Herrera A, Díaz Caballero A. ‘El níquel y su vínculo con el agrandamiento gingival: Revisión de la literatura’. *Av Periodon Implantol.* 2014; 26, 2: 83-89.
23. - Lúcio Henrique Esmeraldo Gurgel Maia, Hibernon Lopes Filho, Antônio Carlos de Oliveira Ruellas, Mônica Tirre de Souza Araújo, Delmo Santiago Vaitsman. ‘Corrosion behavior of self-ligating and conventional metal brackets’. *Dental Press J Orthod.* 2014 Mar-Apr;19 (2):108-14.
24. - Tsui-Hsien Huang, Shinn-Jyh Ding, Yan Min and Chia-Tze Kao. ‘Metal ion release from new and recycles stainless steel brackets’. *European Journal of Orthodontics* 2004, vol.26, 171-177.
25. - N. Staffolani, F. Damiani, C. Lilli, M. Guerra, N.J. Staffolani, S. Belcastro, P. Locci. ‘Ion release from orthodontic appliances’. *Journal of Dentistry* 27 (1999) 449–454.
26. - Hisham M. Badawi, Roger W. Toogoo, Jason P. R. Carey, Giseon Heo, and Paul W. Majore; Edmonton, Alberta, Canada. ‘Torque expression of self-ligating brackets’ (*Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2008; 133:721-8).
27. - Spiros Zinelis; Olga Annousaki; Margarita Makou; Theodore Eliades. ‘Metallurgical Characterization of Orthodontic Brackets Produced by Metal Injection Molding (MIM).’ (*Angle Orthod* 2005;75:1024–1031.)
28. - Joo Hyoung Kim, Jung Yul Cha, Chung Ju Hwang. ‘In vitro physical, chemical, and biological evaluation of commercially available metal orthodontic brackets’ (*Korean J Orthod* 2012; 42 (6) :297-306)
29. - Redlich M, Mayer Y, Harari D, Lewinstein I. ‘In vitro study of frictional forces during sliding mechanics of reduced-friction brackets’. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2003;124:69-73.

30. - Bernardo de Azevedo Bahia MENDES, Ricardo Alberto Neto FERREIRA, Matheus Melo PITHON, Martinho Campolina Rebello HORTA, Dauro Douglas OLIVEIRA. "Physical and chemical properties of orthodontic brackets after 12 and 24 months: in situ study". *J Appl Oral Sci.*; 2014; 22(3):194-203.
31. - Maen Zreaqat and Rozita Hassan, School of Dental Sciences, Universiti Sains Malaysia. "Self-Ligating Brackets: An Overview". *Principles in Contemporary Orthodontics*
32. - Garrett W. Melenka, David S. Nobes, Jason P. Carey, and Paul W. Majord; Edmonton, Alberta, Canada. "Three-dimensional deformation comparison of self-ligating brackets"; (*Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2013;143:645-57)
33. - Marcin Mikulewicz, Paulina Wołowiec, Izabela Michalak, Katarzyna Chojnacka, Wojciech Czopor, Adam Berniczei-Royko, Andras Vegh, Thomas Gedrange. "Mapping chemical elements on the surface of orthodontic appliance by SEM-EDX" (*Med Sci Monit*, 2014; 20: 860-865).
34. - Sayeh Ehsani; Marie-Alice Mandich; Tarek H. El-Bialy; Carlos Flores-Mir. "Frictional Resistance in Self-Ligating Orthodontic Brackets and Conventionally Ligated Brackets. A Systematic Review." *Angle Orthodontist*, Vol 79, No 3, 2009.
35. - Nikolaos Pandis, Theodore Eliades, Samira Partowi, and Christoph Bourauel. Bonn, Germany, and Thessaloniki, Greece. "Forces exerted by conventional and self-ligating brackets during simulated first- and second-order corrections." (*Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2008; 133:738-42).
36. - Emily Ong, Hugh McCallum, Mark P. Griffin, and Christopher Hod. Brisbane and Herston, Queensland, Australia. "Efficiency of self-ligating vs conventionally ligated brackets during initial alignment." *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2010; 138:138.e1-138.e7.

37. - Marcio Rodrigues de Almeida; Francisco Herrero; Amine Fattal; Amirparviz R. Davoody; Ravindra Nandae Flavio Uribe. "A comparative anchorage control study between conventional and self-ligating bracket systems using differential moments." (Angle Orthod. 2013; 83:937-942.)

38. - Chase Prettyman; Al M. Best; Steven J. Lindauer; Eser Tufekci. "Self-ligating vs conventional brackets as perceived by orthodontists." Angle Orthod. 2012; 82:1060-1066.

39. - Mona A. Montasser, Ludger Keilig, Tarek El-Bialy, Susanne Reimann, Andreas Jager, and Christoph Bourauel. Mansoura, Egypt, Bonn, Germany, and Edmonton, Alberta, Canada. "Effect of archwire cross-section changes on force levels during complex tooth alignment with conventional and self-ligating brackets." (Am J Orthod Dentofacial Orthop 2015;147:S101-8).

40. - Mevlut Celikoglu, Mehmet Bayram, Metin Nur, Dogan Kilkis. "Mandibular changes during initial alignment with SmartClip self-ligating and conventional brackets: A single-center prospective randomized controlled clinical trial". [Korean J Orthod 2015;45(2):89-94]

41. - Souk Min Lee Chung-Ju Hwang. "A comparative study of frictional force in self-ligating brackets according to the bracket-archwire angulation, bracket material, and wire type". [Korean J Orthod 2015; 45(1):13-19]