

# RUGOSIDAD DE LOS ARCOS ORTODÓNCICOS MEDIANTE MICROSCOPIA CONFOCAL

A. Senosiain, Covadonga Álvarez, Abad, Félix de Carlos Villafranca,  
Alberto A. Suárez<sup>(1)</sup>

*E. de Estomatología. Universidad de Oviedo. C/ Catedrático José Serrano s/n, 33006 –  
Oviedo. TEL: +34 902 131 130 FAX: +34 985 966032. E-mail: iao@odontologico.com*

<sup>(1)</sup>*Área de Ingeniería Mecánica Universidad de Oviedo, C/ Principado nº 3 2ª planta,  
33007 - Oviedo. Teléfono: 985 109 582. Email: suarez@uniovi.es*

Área Temática: Tribología

## **Resumen**

Los fabricantes de materiales ortodóncicos no facilitan la composición exacta ni las propiedades materiales las aleaciones empleadas en la fabricación de arcos ortodóncicos. La fase final de producción de los arcos es determinante de cara a establecer la rugosidad superficial de los mismos. Dicha rugosidad, como se sabe, puede influir sobre la fricción y el movimiento de los dientes. Las variaciones en los valores de rugosidad de arcos de níquel-titanio de diferentes fabricantes que describen muchos estudios, se atribuyen al particular proceso de fabricación de cada casa comercial. Para comprobar dicha hipótesis, en nuestro estudio, hemos analizado mediante microscopía confocal arcos de níquel-titanio (nitinol) de un único fabricante. Sorprendentemente, hemos encontrado valores de rugosidad muy distintos entre los mismos. El proceso de producción de los arcos ortodóncicos carece de la calidad en un principio esperada.

**Palabras clave:** rugosidad, ortodoncia, microscopía confocal

## **Abstract**

In most cases, manufacturers of orthodontic materials, do not provide neither the composition nor the properties of the alloys used in the manufacturing of archwires. The final stage of manufacturing process, during which arches are finished and polished is decisive for roughness. The aforementioned roughness can be of influence of friction. Many studies show extreme variations in the roughness values of nitinol archwires depending on the manufacturer. It is thought, this is because each particular manufacture process. To confirm this assumption, in our study, we have analyzed by confocal microscopy, nitinol archwires of only one manufacturer. We have found extreme roughness values. Manufacture process of orthodontic archwires has not reached the quality expected.

**Key words:** roughness, orthodontics, confocal microscopy

## 1. Introducción

Las aleaciones metálicas empleadas en la clínica ortodóncica diaria se ven sometidas en el medio oral a un estrés mecánico, térmico y químico que les obliga a reunir unos requisitos mínimos de biocompatibilidad. En la mayoría de los casos los fabricantes de materiales ortodóncicos, no facilitan la composición exacta ni las propiedades materiales de dichas aleaciones. A pesar de que existen sistemas que controlan la calidad de los materiales dentales, la aplicación de esas normas a la especialidad de Ortodoncia, no aparece tan claramente regulada.

El proceso de producción, y más concretamente, la fase final de pulido y acabado de los arcos ortodóncicos parece ser determinante a la hora de establecer las propiedades mecánicas y físicas de los mismos. Dentro de las diferentes propiedades de los arcos ortodóncicos, la rugosidad superficial de estos materiales resulta de máxima importancia por su posible influencia en la fricción y en la eficacia en la mecánica de deslizamiento de los dientes. A pesar de ello, es poco lo que se sabe sobre la rugosidad superficial y el coeficiente de fricción de los arcos, así como de la relación que existe entre ambos factores.

El microscopio láser confocal es una herramienta de alta resolución de gran demanda actualmente en investigación de superficies de materiales. Minsk propuso el postulado en el que se basa la microscopía confocal: eliminar luz de los planos fuera del foco, con el fin de obtener mayor nitidez. Esta capacidad de obtener secciones ópticas, es la característica principal y exclusiva del microscopio confocal, y a partir de series de **secciones ópticas** obtenidas a diferente profundidad y archivadas en un ordenador, resulta posible reconstruir una imagen tridimensional.

Mediante esta técnica obtenemos imágenes topográficas de la superficie del material sin destrucción de la muestra, así como la información concreta de las distancias en los ejes X, Y y principalmente en el Z. Permite calcular profundidades y longitud de las grietas, por ejemplo, así como diversos parámetros de cuantificación de rugosidad en trayectos y/o áreas

En general desconocemos la composición exacta y las propiedades de las aleaciones empleadas en la fabricación de los arcos ortodóncicos. El diferente proceso de fabricación, unido a las pequeñas modificaciones en la composición química

introducidas por cada fabricante sobre la aleación inicial, provocan que los valores de rugosidad y de fricción registrados, aparte de no correlacionarse entre sí, sean muy variables entre los distintos arcos; condicionando con ello su comportamiento clínico. Son muchos los estudios que muestran (4-5) variaciones extremas en los valores de rugosidad superficial con arcos de níquel-titanio de diferentes casas comerciales. Si la hipótesis de que el proceso de fabricación es el factor determinante que condiciona la estructura superficial de un arco, la rugosidad medida en diferentes lotes de un mismo producto de una determinada casa comercial, debiera ser en la mayoría de los casos casi idéntica.

Partiendo de ambas hipótesis, los objetivos específicos que nos hemos propuesto en nuestro estudio son:

1. Determinar la variación que existe en los niveles de rugosidad de un arco de níquel-titanio, según sea la casa comercial considerada.
2. Comprobar si la rugosidad del arco es característica de cada casa comercial y se mantiene en los diferentes lotes de fabricación.
3. Confirmar que el valor de rugosidad es independiente del sector considerado, es decir, si se mantiene un valor de rugosidad constante a lo largo de toda la longitud del arco.

## **2. Material y Método**

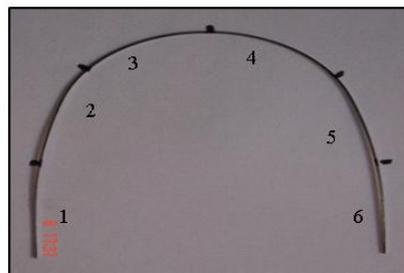
Se usaron arcos de níquel-titanio de distintas casas comerciales. El estudio se dividió en cuatro experimentos diferentes:

- **EXPERIMENTO 1:** Se analizaron ocho arcos de Ni-Ti de diferentes casas comerciales de 0.016''×0.016'' (figura 1)
- **EXPERIMENTO 2:** Se han analizado diecisiete arcos de un mismo material (níquel-titanio, Orthonol®) de una misma casa comercial (Rocky Mountain Orthodontics, RMO). Todos los arcos incluidos en la muestra tenían un calibre de 0.016''×0.022''. La condición necesaria para ser incluidos en este estudio es que todos ellos debían de pertenecer a lotes diferentes de fabricación

- **EXPERIMENTO 3:** Se seleccionó un lote del experimento 2 y se analizaron los diez arcos pertenecientes a dichos lotes, a fin de comparar si existen diferencias dentro de los distintos arcos de un mismo lote de fabricación
- **EXPERIMENTO 4:** Se compararon todos los arcos del experimento 3 por sectores, contrastando si existían diferencias significativas en la rugosidad de los arcos según el sector considerado.

Todas las mediciones fueron efectuadas en el departamento de Proceso de Imágenes de los Servicios Científico Técnico de la Universidad de Oviedo donde utilizamos el modelo de microscopio confocal LEICA SP2/AOBS (Leica Microsystems GMBH, Wetzlar, Alemania). Se empleó un láser de Argón de una longitud de onda de 488nm, con rango espectral de detección 480-500nm, resolución máxima 1024×1024 píxeles y se trabajó en modo de reflexión de la luz y objetivo multiinmersión HC PL APO 20×/0.7.

Todos los arcos fueron divididos en seis sectores (2 posteriores, 2 medios y 2 anteriores). Tal y como se muestra en la figura 1 se estandarizó, aleatoriamente, la numeración de los distintos sectores del arco y se mantuvo en todas las mediciones efectuadas.



*Figura 1. Sectores del arco*

En cada sector se tomó un área representativa del mismo (setecientos cuarenta micras). Cada una de las áreas seleccionadas fueron escaneadas mediante un total de 40 cortes y a partir de la imagen topográfica resultante se obtuvo la reconstrucción tridimensional correspondiente y se midieron cinco parámetros de rugosidad siguiendo las normas DIN EN ISO 4287: Ratio Area Real ( $A^*$ ) / Area escaneada ( $A$ ),  $Pa_{superf}$  ( $\mu$ ),  $RM_{Ssuperf}$  ( $\mu$ ),  $Pa_{lineal}$  ( $\mu$ ),  $RMS_{lineal}$  ( $\mu$ ).

En los experimentos 1-3, los valores mostrados para cada uno de los arcos, se expresan como la media de los distintos sectores  $\pm$  desviación estándar. Con el fin de comprobar el supuesto de normalidad de las variables se llevó a cabo el test de Kolmogorov-Smirnov para después comparar las distintas medias obtenidas mediante un análisis de la varianza (ANOVA). Finalmente se comprobó la existencia de diferencias significativas entre arcos considerándolos dos a dos mediante un Test de Bonferroni. Se consideran significativos los valores de  $p < 0,05$ .

### 3. Resultados

Las tablas 1,2 y 3 muestran los valores obtenidos en cada uno de los arcos analizados en los experimentos 1, 2 y 3 respectivamente.

	Ratio A %A	Pa <sup>superf</sup> (μ)	RMS <sup>superf</sup> (μ)	Pa <sup>lineal</sup> (μ)	RMS <sup>lineal</sup> (μ)
Rematitan®	1,12±0,01	1,31±0,39	1,57±0,44	1,37±0,37	1,72±0,34
Neo Sentalloy™	1,29±0,03	1,41±0,46	1,73±0,51	1,47±0,50	1,91±0,65
Titanol® Low Force	1,16±0,05	1,34±0,27	1,60±0,37	1,31±0,31	1,57± 0,4
Titanol® superelastic coated in tooth colour	1,38±0,04	2,16±0,43	2,65±0,40	1,81±0,46	2,23±0,53
Orthonol®	1,29±0,10	1,69±0,67	2,41±1,19	1,59±0,57	2,07±0,78
Thermaloy®	1,20±0,02	1,39±0,59	1,69±0,68	1,41±0,62	1,68±0,71
Nitinol® 3M	1,29±0,13	1,36±0,55	1,67±0,62	1,27±0,61	1,54±0,71
Nitinol®Ormco	1,26±0,04	1,77±0,90	2,15±1,03	1,69±0,91	1,93± 1,1

**Tabla 1.** Resultados del experimento 1. ANOVA: Ratio A %A  $p < 0,001$ ; Pa<sup>superf</sup> NS; RMS<sup>superf</sup> NS; Pa<sup>lineal</sup> NS; RMS<sup>lineal</sup> NS

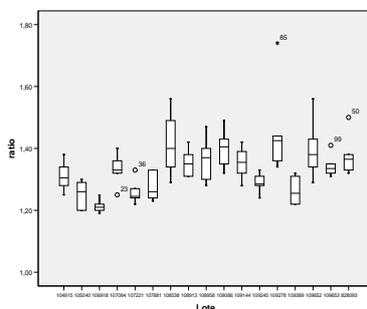
Lote	Ratio A %A	Pasuperf (μ)	RMSsuperf (μ)	Palineal (μ)	RMSlineal (μ)
Lote1	1,41± 0,10	1,87± 0,63	2,55± 0,90	1,23 ±0,60	1,71± 0,74
Lote 2	1,29± 0,03	1,49± 0,78	1,84± 0,90	1,03± 0,44	1,26± 0,52
Lote 3	1,35± 0,05	1,43± 0,46	1,78± 0,55	1,17± 0,47	1,44± 0,53
Lote4	1,33± 0,04	1,27± 0,43	1,61± 0,49	1,12± 0,52	1,37± 0,60
Lote5	1,27± 0,04	1,40± 0,65	1,70± 0,76	1,16± 0,76	1,39± 0,86
Lote 6	1,25± 0,04	1,46± 0,50	1,83± 0,58	0,91±0,35	1,16± 0,42
Lote 7	1,21± 0,02	1,50± 0,68	1,84± 0,80	1,08±0,51	1,30± 0,58
Lote8	1,31± 0,04	1,88± 0,71	2,27± 0,80	0,93± 0,39	1,13± 0,46
Lote 9	1,38± 0,06	1,33± 0,26	1,64± 0,32	1,21± 0,19	1,41± 0,17
Lote 10	1,25± 0,04	1,20± 0,28	1,60± 0,28	1,01±0,14	1,3± 0,16
Lote11	1,35± 0,04	1,18± 0,48	1,53± 0,54	1,12± 0,47	1,37± 0,57
Lote 12	1,36± 0,07	2,22± 0,88	2,83± 1,09	1,53±1,22	1,92± 1,37
Lote13	1,40± 0,06	1,52± 0,45	2,05± 0,65	1,34± 0,52	1,74± 0,68
Lote 14	1,26± 0,04	1,22± 0,41	1,55± 0,54	1,01± 0,67	1,38± 1,03
Lote15	1,45± 0,14	1,52± 0,44	2,04 ±0,49	1,42± 0,44	1,89± 0,49
Lote 16	1,4± 0,09	1,71± 0,29	2,39± 0,27	1,11± 0,41	1,50± 0,56
Lote 17	1,34± 0,03	1,41± 0,67	1,81± 0,77	1,08± 0,38	1,36± 0,42

**Tabla 2.** Resultados del experimento 2. ANOVA: Ratio A %A  $p = 0,001$ ; Pa<sup>superf</sup> NS; RMS<sup>superf</sup>  $p = 0,033$ ; Pa<sup>lineal</sup> NS; RMS<sup>lineal</sup> NS

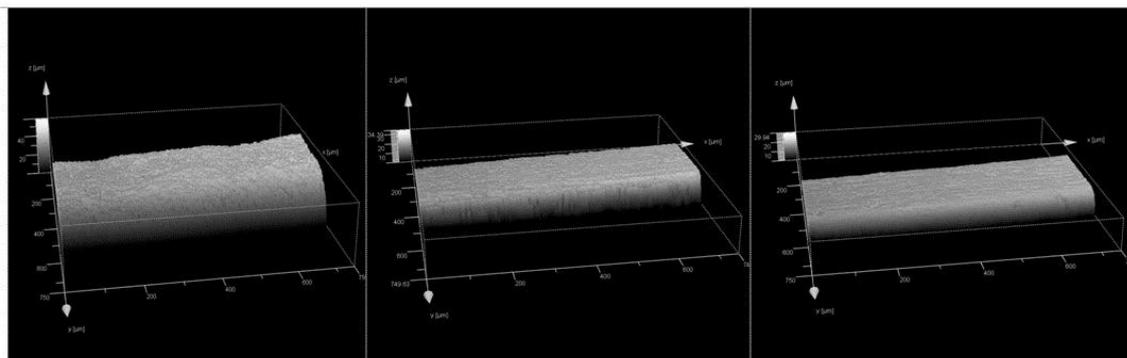
	Ratio A/A	Pasuperf ( $\mu$ )	RMSsuperf( $\mu$ )	Palineal( $\mu$ )	RMSlineal( $\mu$ )
Arco 1	1,35± 0,04	1,18± 0,48	1,53± 0,54	1,12± 0,47	1,37± 0,57
Arco 2	1,28± 0,04	1,06± 0,45	1,33± 0,50	0,99± 0,49	1,21± 0,55
Arco 3	1,28± 0,06	1,17± 0,37	1,71± 0,44	1,08± 0,48	1,44± 0,56
Arco 4	1,23± 0,03	0,98± 0,37	1,33± 0,39	0,91± 0,38	1,13± 0,58
Arco 5	1,22± 0,04	1,26± 0,71	1,67± 0,86	1,08± 0,56	1,40± 0,68
Arco 6	1,35± 0,06	1,72± 0,65	2,14± 0,72	1,15± 0,42	1,49± 0,50
Arco 7	1,36± 0,03	1,26± 0,33	1,81± 0,32	1,18± 0,42	1,48± 0,46
Arco 8	1,28± 0,03	1,15± 0,35	1,57± 0,4	1,01± 0,37	1,25± 0,44
Arco 9	1,37± 0,07	1,06± 0,30	1,43± 0,27	1,02± 0,34	1,47± 0,40
Arco 10	1,29± 0,04	1,11± 0,40	1,46± 0,43	1,00± 0,41	1,20± 0,46

**Tabla 3.** Resultados del lote 108913. ANOVA : Ratio A/A  $p=0,001$ ; Pa superf NS; RMS superf NS; Pa lineal NS; RMS lineal NS

En el experimento 1, entre las ocho casas comerciales analizadas, sólo se encontraron diferencias estadísticamente significativas al considerar la variables Ratio A/A ( $p=0,001$ ) (gráfica 1 de la página siguiente). Destaca la gran variabilidad de resultados entre los distintos fabricantes, existiendo diferencias estadísticamente significativas ( $p<0,005$ ), al comparar varios de los arcos dos a dos. Al comparar las imágenes tridimensionales (figura 2 de la página siguiente), a pesar de tratarse de la misma composición química, se observan prominencias y depresiones importantes que provocan diferencias de unos fabricantes a otros.

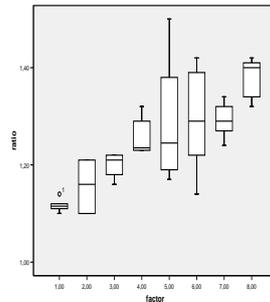


**Gráfica 1.** Box-Plot variable RATIO A/A. ANOVA  $p=0,001$ . Bonferroni: 1vs4,5,6,7,8; 2vs5,6,7,8; 3vs8

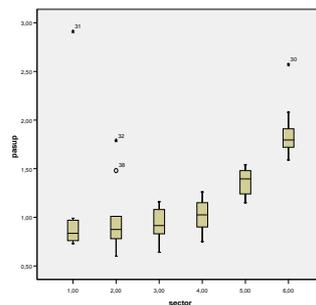


**Figura 2.** Imágenes tridimensionales correspondientes a arcos de tres fabricantes distintos

En el experimento 2, los diferentes lotes analizados sólo se diferenciaron en valores estadísticamente significativos en la variable Ratio A/A ( $p=0,001$ ) (gráfica 2) y en el índice de rugosidad  $RMS_{superf}$  ( $p= 0,033$ ). Destaca la gran dispersión presente en algunos lotes frente a la escasa dispersión de otros. En este caso al comparar las imágenes tridimensionales no se encuentran diferencias importantes que permitan distinguir unos lotes de otros. En el experimento 3, solamente la variable Ratio A/A ( $p<0,001$ ) resultó significativa entre los distintos arcos. En el experimento 4 (gráfica 3), a diferencia de los anteriores, se hallaron diferencias estadísticamente significativas ( $p<0,001$ ) en  $Pa_{superf}$ ,  $RMS_{superf}$ ,  $Pa_{lineal}$ ,  $RMS_{lineal}$ .



**Gráfica 2.** Box-plot variable Ratio A/A. ANOVA:  $p=0,001$



**Gráfica 3:** Box-plot variable  $Pa_{superf}$ . Lote 108913 (por sectores). ANOVA:  $p<0,001$

#### **4. Discusión**

Los resultados del experimento 1 confirmarían la importancia del proceso de fabricación de los arcos sobre la rugosidad superficial de los mismos, pero los resultados de los experimentos 2, 3, 4 contradicen dicha afirmación y nos conducen a pensar que la fase final del proceso de producción de los arcos ortodóncicos carece de la calidad en un principio esperada. Una posible explicación a la disparidad de resultados podría ser que la aleación de Ni-Ti superelástico y termoelástico (que son dos modificaciones de la aleación de níquel-titanio original) se caracteriza por la transformación de una fase austenítica (mayor rigidez y estructura cristalina cúbica) a una martensítica (menor rigidez y estructura cristalina hexagonal)<sup>8</sup>, de tal modo que el fabricante puede hacer que predomine una fase sobre la otra en la fabricación del arco y no ser especificado en la información suministrada.

En el experimento 4 (gráfica 3) en todos los arcos analizados se cumplía que, aunque no existe un crecimiento perfectamente progresivo desde el sector 1 al sector 6, los valores de rugosidad correspondientes a los sectores iniciales (1,2 y 3) eran mucho menores que los de los sectores finales (5 y6).

#### **5. Conclusión**

En la medida de la rugosidad de diferentes lotes de un mismo arco de níquel-titanio y los diferentes arcos que componen un mismo lote de fabricación, se hallaron diferencias significativas en las variables consideradas.

El valor de la rugosidad no es independientes del sector del arco considerado, debido al proceso de pulido final.

Se requieren especificaciones exactas en relación a la calidad de los alambres ortodóncicos en el mercado, así como el cumplimiento de los mismos dado que la fase final del proceso de producción de las arcos ortodóncicos carece de la calidad en un principio esperada al menos en cuanto a reproductibilidad de la rugosidad.

## 6. Referencias

1. Lockwood H., British Journal of Oral Surgery, (12) (1974), 102-105.
2. Frank CA, Nicolai JR. A comparative study of frictional resistances between orthodontic bracket and archwire. Am J Othod Dentofacial Orthop 1980;78:596-609
3. Garner LD, Allai WW, Moore BK. A comparison of frictional forces during simulated canine retraction of a continuous edgewise archwire. Am J Orthod Dentofacial Orthop 1986;90:199-203
4. Stannard JG, Gau JM, Hanna MA. Comparative friction of orthodontic wires under dry and wet conditions. Am J Orthod 1986; 89: 485-491
5. Kusy RP, Whitley JQ. Effect of sliding velocity on the coefficients of friction in a model orthodontic system. Dent Material 1989;5:235-240
6. Universidad de Alicante. Microscopía Láser Confocal. Servicio Técnicas de Investigación. Disponible en: <http://www1.usc.es/riaidt/m/nicroscopiaelectronica/textoconfocal.htm>
7. Kusy RP, Whitley JQ, Mayhew MJ, Buckral JE. Surface roughness of orthodontic archwires via laser spectroscopy. Angle Orthod 1988;58:33-45
8. Especificación geométrica de productos (GPS) Norma española AENOR 1999
9. Canut JA. Ortodoncia clínica y terapéutica. 2º Edición. Editorial Masson. Barcelona. 2000

# RUGOSIDAD DE LOS ARCOS ORTODÓNCICOS MEDIANTE MICROSCOPIA CONFOCAL

A. Senosiain Oroquieta, C. Álvarez Abad, F. de Carlos Villafranca, A. Álvarez Suárez

## I. INTRODUCCIÓN

Un aparato de Ortodoncia estándar se compone de dos elementos principales: el elemento pasivo (**bracket**) y el elemento activo (**arco**), que es el encargado de que la información contenida en la bracket se transmita a los dientes.

Una de las principales aleaciones que se emplean en la fabricación de los arcos ortodóncicos es la aleación de níquel-titanio. El proceso de producción de los arcos ortodóncicos parece ser determinante a la hora de establecer la rugosidad superficial de los mismos. Dicha **rugosidad**, resulta de máxima importancia al determinar el área entre las superficies de contacto y, consecuentemente afectar a la eficacia en la mecánica de deslizamiento de los dientes, por su posible influencia sobre el coeficiente de **fricción**.

La **microscopía confocal** es una herramienta de alta resolución, actualmente muy utilizada en investigación sobre superficies de materiales. Gracias a ella, obtenemos imágenes topográficas de la superficie del material sin destrucción de la muestra y de forma sencilla permite calcular la profundidad y longitud de las grietas, así como diversos parámetros de cuantificación de rugosidad en trayectos y/o áreas.

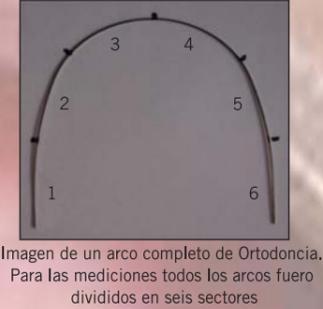
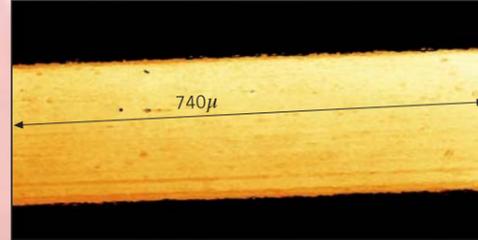
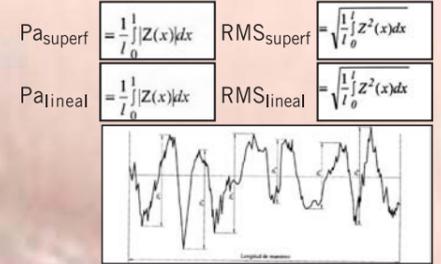
Mediante este estudio pretendemos comprobar que el proceso de fabricación de los arcos ortodóncicos reúne las condiciones de calidad en un principio esperadas.

## II. MATERIAL Y MÉTODO

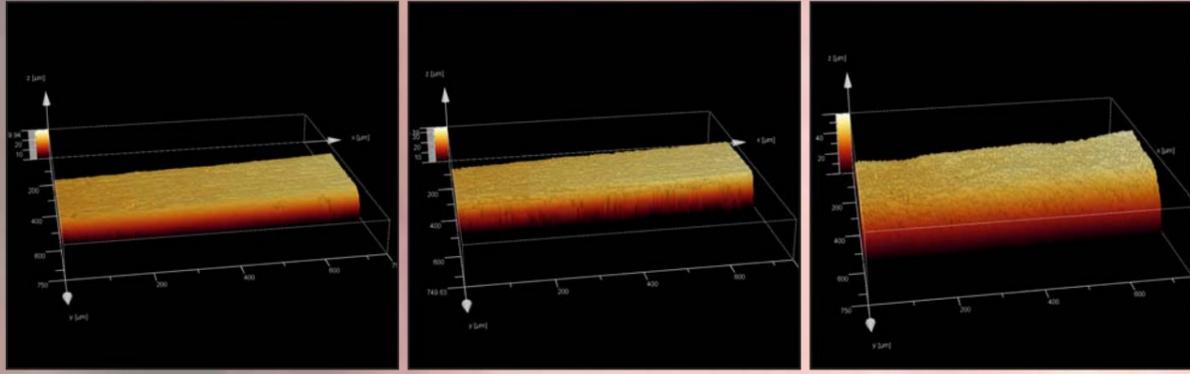
Se han analizado los valores de rugosidad de arcos de níquel-titanio de 0.016" x 0.022" en función de: **la casa comercial considerada, del lote de fabricación de un determinado fabricante y del sector del arco considerado.**

Todas las mediciones fueron efectuadas en el departamento de *Proceso de Imágenes de los Servicios Científico Técnico de la Universidad de Oviedo* donde utilizamos el modelo de microscopio confocal Leica SP2/AOBS. Los parámetros analizados fueron:

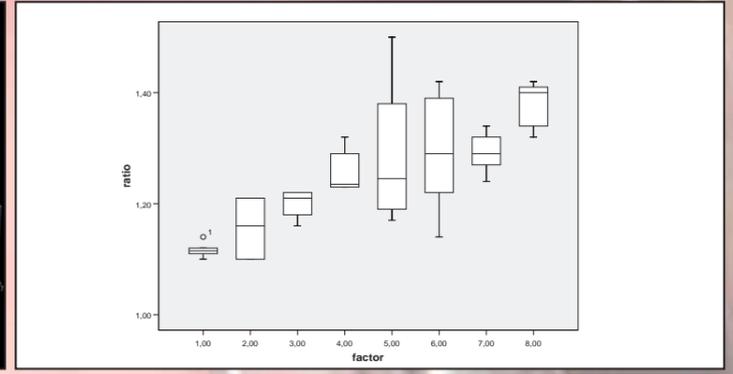
- 1.- Ratio Area Real (A') / Area escaneada (A)
- 2.- Medición de la rugosidad de un área de interés:  $P_{a\text{superf}} = \frac{1}{A} \int \int |Z(x)| dx$   $RMS_{\text{superf}} = \sqrt{\frac{1}{A} \int \int Z^2(x) dx}$
- 3.- Medición de la rugosidad lineal:  $P_{a\text{lineal}} = \frac{1}{L} \int |Z(x)| dx$   $RMS_{\text{lineal}} = \sqrt{\frac{1}{L} \int Z^2(x) dx}$
- 4.- Reconstrucción topográfica tridimensional



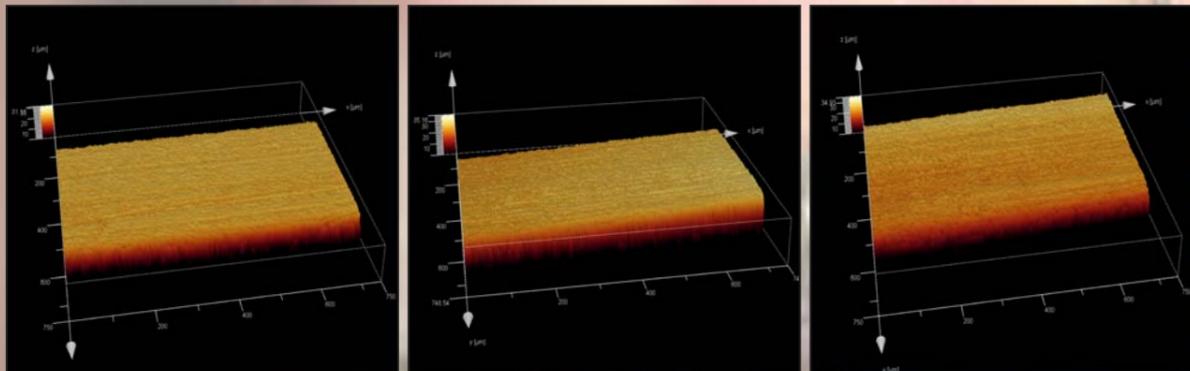
## III. RESULTADOS



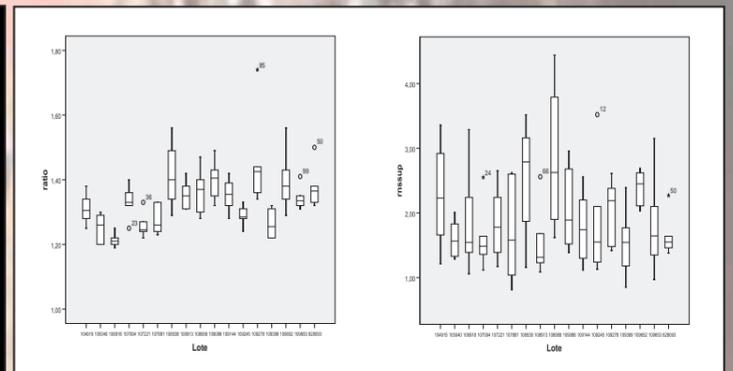
Imágenes tridimensionales correspondientes a arcos de tres fabricantes distintos



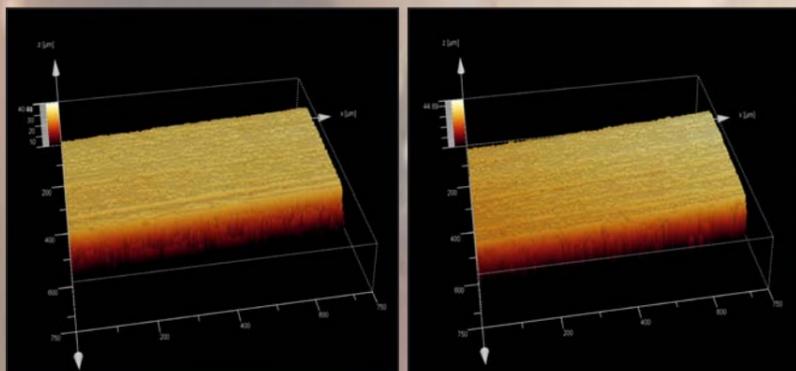
Al comparar **distintos fabricantes**, se encontraron **diferencias estadísticamente significativas** (p=0,001) en la variable **Ratio A'/A**. Las imágenes tridimensionales reflejan, igualmente, las diferencias en los valores de rugosidad de unas casas comerciales a otras.



Imágenes tridimensionales correspondientes a tres lotes diferentes

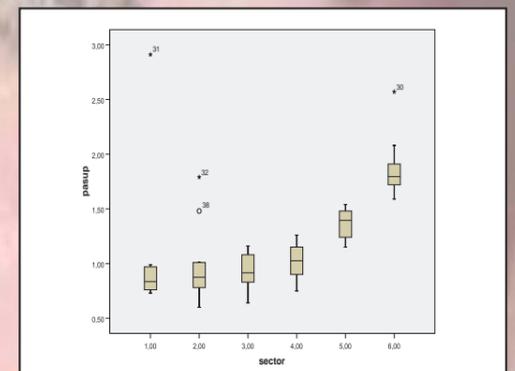


Al comparar **17 lotes de fabricación** diferentes de un mismo arco de níquel-titanio se encontraron **diferencias estadísticamente significativas** al considerar la variable **Ratio A'/A** (p=0,001) y el **RMSsuperf** (p=0,033). Sin embargo, en las imágenes tridimensionales no se aprecian diferencias importantes de unos lotes a otros.



Imágenes tridimensionales correspondientes a dos sectores diferentes de un mismo arco

Comparando las **seis regiones del arco analizadas**, se encontraron **diferencias estadísticamente significativas** de unos sectores a otros en las variables **Pa<sub>superf</sub>** (p<0,001), **RMS<sub>superf</sub>** (p<0,001), **Pa<sub>lineal</sub>** (p<0,001) y **RMS<sub>lineal</sub>** (p<0,001). Dichas diferencias no se aprecian en las imágenes tridimensionales.



## IV. DISCUSIÓN

Las diferencias estadísticamente significativas halladas en algunos de los parámetros analizados, no sólo al comparar diferentes fabricantes, sino también al comparar distintos lotes de un mismo producto e incluso distintas regiones de un mismo arco, hacen suponer que, la fase final del proceso de producción de los arcos ortodóncicos carece de la calidad en un principio esperada.

## V. CONCLUSIONES

El proceso de fabricación de los arcos **no reúne la calidad en un principio esperada.**

Se requieren, por tanto, normativas más estrictas que especifiquen requisitos mínimos, en cuanto a valores de rugosidad se refiere.

### BIBLIOGRAFÍA:

1. ADA initiates development of orthodontic informatics standards. Harrel WE, Stanford S, Bralower P. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2005;128:153-6
2. Drescher D, Bourauel C, Schumacher HA. Frictional forces between bracket and archwire. Am J Orthod Dentofacial Orthop 1989;96:397-404
3. Kusy RP, Whitley JQ, Mayhew MJ, Buckral JE. Surface roughness of orthodontic archwires via laser spectroscopy. Angle Orthod 1988;58:33-45
4. Kusy RP, Whitley JQ. Effect of surface roughness on frictional coefficients of archwires. J Dent Res 1988;67:A 1986
5. Bourauel C, Fries T, Drescher D, Plietsch R. Surface roughness of orthodontic wires via atomic force microscopy, laser specular reflectance and profilometry. Eur J Orthod 1998;20:79-92