



UACH
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
CHIHUAHUA

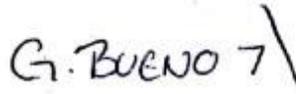
Caracterización de Arcos Ortodónticos de Titanio-Molibdeno en Microscopio Electrónico de Barrido de Tunelaje

Tesis que presenta la **C. D. Paulina Ramos Ponce**, para obtener el grado de Maestría En Estomatología opción Ortodoncia.

Chihuahua, Chih., 03/05/22



La Tesis: Caracterización de Arcos Ortodónticos de Titanio Molibdeno en Microscopio Electrónico de Barrido de Tunelaje, presentada por la Cirujano Dentista: Paulina Ramos Ponce, como requisito para obtener el Título de Maestría en Estomatología Opción Ortodoncia, ha sido aprobada y aceptada por:



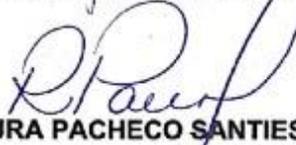
DR. GERARDO BUENO ACUÑA

Director



DR. GUILLERMO MARTÍNEZ MATA

Secretario de Investigación y Posgrado



DRA. ROSAURA PACHECO SANTIESTEBAN

Secretaria Académica



M. S. C. D. P. H. ALEXIS ÁLVAREZ RAMÍREZ

Director de tesis



DR. HUMBERTO ALEJANDRO MONREAL ROMERO

Asesor



DR. MARVIN ELCO ESTRADA MACÍAS.

Asesor

RESUMEN

Las características morfológicas de los arcos ortodónticos con aleaciones novedosas suelen ser de interés para los especialistas ya que estas determinan el nivel de fricción y la biomecánica ideal para trabajar, de manera que el objetivo de esta investigación fue evaluar las partes irregulares de la superficie, el valor de la banda prohibida, y el costo de los arcos cuya aleación base es Titanio-Molibdeno. Materiales y métodos: se seleccionaron 3 arcos de calibre .017x.025 pulgadas de diferentes marcas disponibles en la ciudad de Chihuahua, Chih., México (ORMCO[®], GAC[®] y Ah Kim Pech[®]), los cuales fueron llevados al microscopio electrónico de barrido de tunelaje para su valoración. Resultados: Se obtuvieron imágenes de las superficies de los arcos que demuestran diferencias entre la anchura y altura de valles y crestas que establecen una rugosidad aumentada para el arco TTM Stylus[®] de la marca Ah Kim Pech[®], seguido del arco TMA[®], ORMCO[®] y finalmente y con la base mas plana el Resolve de GAC[®]. La capacidad de conductividad para todos los arcos fue de 2.75 Electrón volt y no hubo diferencias significativas en el precio. Conclusiones: El Arco Resolve mostró las mejores cualidades respecto a sus homólogos por lo que se presume tendrá menor fricción y mejores condiciones para llevar a cabo un tratamiento rápido y eficiente. **Palabras Clave:** Arco ortodóntico, Microscopía, Titanio, Molibdeno, Fricción.

SUMMARY

The morphological characteristics of orthodontic archwires with novel alloys are usually of interest to specialists since they determine the level of friction and the ideal biomechanics to work with, so the objective of this research was to evaluate the irregular parts of the surface, the value of the forbidden band, and the cost of the arches whose base is Titanium-Molybdenum. Materials and methods: three .017x.025-inch caliber archwires of different brands available in the city of Chihuahua, Chih., Mexico (ORMCO[®], GAC[®], and Ah Kim Pech[®]) were selected, which were taken to the scanning tunneling microscope for analysis. Results: Images of the surfaces of the archwires were obtained that demonstrate differences between the width and height of valleys and ridges that reinforce an increased roughness for the TTM Stylus[®] archwire of the Ah Kim Pech[®] brand, followed by the TMA[®], ORMCO[®] archwire and finally and with the flatter base the GAC Resolve[®]. The conductive capacity for all arcs was 2.75 Electron volts and there were no significant differences in price. Conclusions: The Resolve Arch showed the best qualities compared to its counterparts, so it is presumed that it will have less friction and better conditions to carry out a fast and efficient treatment. **Key Words:** Orthodontic archwire, Microscopy, Titanium, Molybdenum, Friction.

INDICE

INDICE DE TABLAS.....	3
ÍNDICE DE FIGURAS	4
1. GLOSARIO	5
2. INTRODUCCIÓN	7
3. JUSTIFICACIÓN.....	15
4. OBJETIVO GENERAL	16
5. OBJETIVOS PARTICULARES	17
6. HIPÓTESIS	18
7. MARCO TEÓRICO	19
7.1 Desarrollo Histórico de las Aleaciones en los Arcos Ortodónticos.....	19
7.2 Clasificación de los Arcos Ortodónticos.....	23
7.3 Características que Debe Tener una Aleación para Arco Ortodóntico ideal.....	24
7.4 Factores que alteran las características de un Arco Ortodóntico.....	24
7.5 Composición y Propiedades de los Arcos Ortodónticos de Titanio Molibdeno....	25
7.6 Usos de los Arcos Ortodónticos de Titanio Molibdeno.....	26
7.7 Consideraciones Biomecánicas Para el Uso de Arcos Ortodónticos de Titanio Molibdeno.....	26
7.8 Marcas Comerciales Mas Usadas en México de Arcos Ortodónticos de Titanio Molibdeno.....	27
7.9 Comparación de las Características de diferentes marcas Comerciales de arcos Ortodónticos de Titanio Molibdeno.....	28
7.10 Microscopio Electrónico de Barrido de Tunelaje.....	29
8. MATERIALES Y MÉTODOS	32
8.1 Materiales.....	32
8.2 Métodos.....	34
9. CRITERIOS DE INCLUSIÓN	36
10. CRITERIOS DE EXCLUSIÓN.....	36

11. VARIABLE DEPENDIENTE	37
12. VARIABLES INDEPENDIENTES.....	37
13. RESULTADOS.....	38
14. DISCUSIÓN.....	49
15. CONCLUSIONES.....	55
16. BIBLIOGRAFÍA.....	56
17. ANEXOS.....	66

INDICE DE TABLAS

Tabla No. 1. Composición de Arcos de Titanio Molibdeno de diferentes marcas...	32
Tabla No. 2. Parámetros de los Arcos Ortodónticos de Titanio-Molibdeno.....	46
Tabla No. 3. Costos de Arcos de Titanio-Molibdeno.....	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura No. 1. Elementos de Ortodoncia.....	7
Figura No. 2. Arcos Ortodónticos de Titanio-Molibdeno de diferentes marcas.....	10
Figura No. 3. Mecánica con y sin fricción.....	13
Figura No. 4. Componentes de STM.....	33
Figura No. 5. Micrografía Arco ORMCO®.....	38
Figura No. 6. Micrografía Arco GAC®.....	39
Figura No. 7. Micrografía Arco Ah Kim Pech®.....	39
Figura No. 8. Micrografía escaneo arco TMA® ORMCO®.....	40
Figura No. 9. Micrografía escaneo arco TMA GAC®.....	41
Figura No. 10. Micrografía escaneo arco TMA Ah Kim Pech®.....	41
Figura No. 11. Micrografía de superficie de arco ORMCO®.....	42
Figura No. 12. Micrografía de superficie de arco GAC®.....	43
Figura No. 13. Micrografía de superficie de arco Ah Kim Pech®.....	43
Figura No. 14. Micrografía 3d Arco TMA® ORMCO®.....	44
Figura No. 15. Micrografía 3d Arco Resolve® GAC®.....	45
Figura No. 16. Micrografía 3d Arco TTM Stylus® Ah Kim Pech®.....	45
Figura No. 17. Parámetros de superficie de Arco ORMCO®.....	47
Figura No. 18. Parámetros de superficie de arco GAC®.....	47
Figura No. 19. Parámetros de superficie de arco Ah Kim Pech®.....	47
Anexo No. 1. Fotografía de los Empaques de arcos ortodonticos de las marcas evaluadas en esta investigacion.....	63

1. GLOSARIO

Arco Ortodóntico	Elemento activo del tratamiento de ortodoncia constituido por alambres de diferentes aleaciones, cuya función es generar presión sobre el elemento pasivo (slot del bracket) para de esta manera generar el movimiento dentario, pueden ser de diferentes calibres y ser prefabricados o moldeados por el ortodontista.
Altura máxima	Distancia entre el punto de mayor altura y la base.
Área de cresta	Área de superficie elevada desde la base.
Área de valle	Area de superficie deprimida o plana desde la base.
Biocompatibilidad	Es la capacidad de un biomaterial para desempeñar la función deseada de acuerdo con el tratamiento médico, sin provocar ningún efecto indeseable local o sistémico en el beneficiario de la terapia.
Cresta	Superficie elevada de una micrografía
Deslizamiento	Es el movimiento de un objeto sobre otro en contacto, en este caso el movimiento del elemento activo sobre el pasivo de la ortodoncia.
Estabilidad Ambiental	Es la Resistencia de un metal o aleacion a la corrosión.
Fricción	Es el conjunto de fuerzas que actuan sobre el diente oponiéndose al movimiento dentario.

Molibdeno	Metal esencial que se utiliza para la fabricación de insumos médicos aleado con otros metales. Su número en la tabla periódica es el 42 y su símbolo Mo.
Profundidad máxima Resistencia	Distancia entre el punto de mayor profundidad y la base Capacidad de un metal de soportar una carga externa sin romperse.
Rigidez	Capacidad de un metal de resistir la deformación.
Rugosidad	Acabado irregular que posee una superficie.
Soldabilidad	Propiedad que tienen algunos metales de ser soldados.
STM.	Siglas en inglés para Microscopio Electrónico de Barrido de Tunelaje
Tensión	Es la fuerza que se le aplica a un metal para ser deformado.
Titanio	Metal esencial que se utiliza para la fabricación de insumos médicos aleado con otros metales. Su número en la tabla periódica es el 22 y su símbolo Ti.
TMA	Siglas para aleación a base de Titanio-Molibdeno
Valle	Superficie plana de una micrografía
Valor de la Banda Prohibida	Es la mínima energía que necesita el electrón para que la punta del microscopio saque el electrón de la muestra.

2. INTRODUCCIÓN

En la búsqueda de los seres humanos por mejorar el atractivo físico y la estética facial, la sonrisa desempeña un papel primordial. Los intentos por tener unos dientes agradables a la vista han llevado al hombre a lo largo de los años a encontrar los elementos necesarios para mejorar las condiciones de la boca. En este camino dentro de la odontología, la ortodoncia ha marcado una línea para el seguimiento de este ámbito ya sea, preventivo, reparador o puramente estético. El tratamiento ortodóntico para enderezar los dientes, se lleva a cabo mediante dos elementos primordiales: los elementos pasivos que en este caso están representados por los brackets adheridos a los dientes, y los elementos activos que son los arcos ortodónticos que se colocan sobre los brackets, y son representados por alambres que almacenan energía cuando son deformados, y que luego liberan traduciéndose en fuerzas activas que generan estímulos en el ligamento periodontal dando lugar a cambios químicos, biológicos, celulares y moleculares que producen un movimiento dental.(1-3)

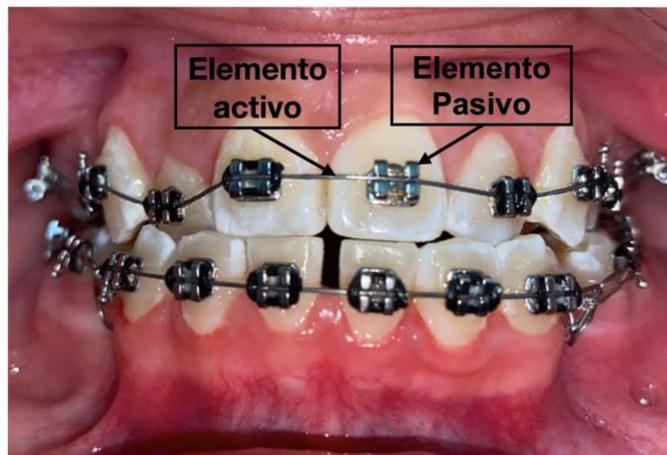


Figura No.1 Elementos de la ortodoncia.

Una selección adecuada de la aleación del elemento activo, permite al ortodoncista controlar los niveles de fuerza y la magnitud de los movimientos necesarios para mover los dientes en forma eficiente y adecuada, modulando así la intensidad, dirección y duración de la fuerza y sus consecuentes movimientos.(3,4)

Es importante considerar que los alambres están formados por moléculas, fuerzas cohesivas altas y átomos y que cuando se aplica una carga o fuerza a un arco ortodóntico para ser deformado, este sufre cambios internos y externos que dependen de variables importantes como el material de fabricación y la longitud de la distancia ínter e intra elementos ya sean pasivos o activos.(5-7)

Durante los últimos 15 años, la investigación científica y metalúrgica a través de la evolución de la microscopía, ha logrado caracterizar la transformación de los elementos activos y pasivos de la ortodoncia. Los arcos ortodónticos ahora pueden ser evaluados por su rigidez, rugosidad, elasticidad, maleabilidad, soldabilidad entre otras, a escalas nanométricas, mediante diferentes técnicas de microscopía entre las cuales las más populares son la microscopía óptica avanzada, electrónica de barrido, electrónica de transmisión, de efecto túnel y la de fuerzas atómicas, y por medio de ellas obtener imágenes de alta resolución que nos permitan identificar y comparar las características de los materiales lo que beneficia a los ortodoncistas en la selección de las aleaciones apropiadas para obtener resultados de tratamiento óptimos y predecibles.(8-11)

Actualmente las aleaciones a base de titanio han revolucionado el mercado de la ortodoncia y son la opción por elegir de la mayoría de los ortodontistas por sus propiedades superelásticas, y de ahí ha partido la adición de otros componentes que amplifican la versatilidad de sus características como lo es el Ni, Mo, Nb, Zr, Sn. Etc.(5,12)

Las aleaciones biocompatibles a base de titanio-molibdeno han sido investigadas arduamente debido a sus aplicaciones biomédicas, y en el campo de la ortodoncia los arcos ortodónticos de este material tienen atención especial ya que presentan un mayor módulo de elasticidad con una mayor recuperación al igual que una alta resistencia a la corrosión, lo cual se convierte en un factor necesario para evitar la liberación de productos metálicos y prevenir respuestas inflamatorias y alérgicas como se ha documentado ampliamente en el caso de las aleaciones con base en níquel-titanio, donde el Níquel ha producido respuestas alérgicas en algunos pacientes.(6,13)

El propósito del estudio es la caracterización de arcos de Titanio-Molibdeno y comparar las características superficiales de arcos ortodónticos de .017x.025” que son adquiridos comercialmente en México, usando un microscopio electrónico de barrido (SEM) y probar que hay diferencias entre varias marcas comerciales, para de esta manera brindar al clínico mejores opciones para la selección de arcos ortodónticos, libres de níquel y con mejores propiedades elásticas para las diferentes fases de tratamiento. (14–16)

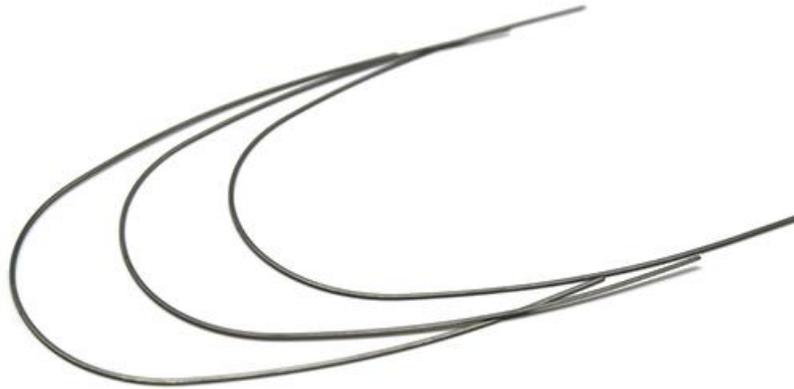


Figura No. 2 Arcos ortodónticos de Titanio-Molibdeno de diferentes marcas

En los diferentes tipos de aleaciones de los arcos ortodónticos destacan ciertas propiedades que los catalogan de acuerdo a sus beneficios, como lo es la biocompatibilidad que les confiere las características óptimas de aceptación de los tejidos para funcionar según su objetivo y evitar la corrosión, también esta la resistencia del metal que se identifica como la capacidad de un arco ortodóntico a soportar una carga que lo deforme sin exceder su límite de deformación plástica, la rigidez, que es la medida de resistencia a cualquier deformación mecánica o dicho de otra manera, la fuerza requerida para doblar o deformar un arco ortodóntico a una distancia definida (17). Por otro lado, esta el rango de trabajo el cual se refiere a que tanto se puede deformar un arco sin producir una deformación permanente, la carga es la fuerza por unidad de área y se puede definir como la tensión y compresión y cuando este presente habrá una deformación o deflexión sobre el arco que puede ser elástica o plástica dependiendo de las características de la aleación que se trate. También existe el limite proporcional y el limite elástico aparente(14).

El primero se refiere al punto en el que el arco empieza a sufrir cambios permanentes y el segundo al punto de la curva donde el arco sufre una deformación del .01%, a partir del cual entra en un rango de inestabilidad en el que el daño puede llegar a ser irreparable también está el punto en el que el arco ortodóntico entra en un rango de inestabilidad en el que puede dañarse de manera irreversible al cual se le llama punto de carga clínica arbitraria, y si es forzado un poco mas llega al punto de fractura donde el arco ya no resiste mas la carga ni la deformación y se fractura, por otro lado están las características del estado interior del material, las cuales van a depender del tipo de aleación y de la sección transversal o diámetro del arco, a estas características se les llama intrínsecas, entre las cuales destacan el esfuerzo o tensión que es representada por la distribución interna de la carga y es definida por unidad de área o superficie, esta se mide en Pascales (N/m²)(17). También está la deformación: que se representa como la distorsión interna producida por la carga, y es definida por unidad de longitud. El módulo de Young o también llamado módulo de elasticidad es representado por el espacio entre el estrés y la deformación por debajo del límite elástico, dicho en otras palabras, a menor pendiente, mayor elasticidad del arco. La resiliencia es la cantidad de energía almacenada dentro del arco ortodóntico para mover los dientes y la moldeabilidad es la cantidad de deformación permanente que puede resistir un arco antes de fracturarse, es ahí donde se produce el módulo de dureza o punto de fractura. La estabilidad ambiental es catalogada como la capacidad del metal de mantener sus propiedades por un período de tiempo considerable después de su fabricación. La soldabilidad de los

arcos representa una ventaja de uso ya que la necesidad de modificaciones en el arco ortodóntico en algunas biomecánicas de tratamiento es indispensable. (18,19)

Una de las principales propiedades a evaluar en los arcos ortodónticos es la Fricción, que se define como la resistencia al desplazamiento de dos cuerpos que están en contacto, en este caso el contacto del arco con el bracket y es de suma importancia ya que de esto depende el movimiento que se de sobre el diente que desencadenará la efectividad, duración y control que se pueda tener sobre los tratamientos. (20)

Las aleaciones mas populares en la ortodoncia en los últimos años han sido las de Níquel-Titanio, sin embargo, a partir de 1980 se empezó a desarrollar la aleación de Titanio-Molibdeno para aplicaciones en ortodoncia, que tiene las mejores propiedades del titanio (como un módulo de elasticidad mayor al del acero inoxidable) y con el molibdeno en vez de Níquel se evitan los procesos alérgicos en pacientes con hipersensibilidad a este, además de ser mas maleable, una alta resistencia a la corrosión y la posibilidad de ser soldado, se convierte en una excelente opción a elegir. (13,14)

Esta aleación tiene una forma mas estable, cúbica y centrada, que generalmente compuesta por el 79% de Titanio como metal principal y 11% de Molibdeno, con porciones mas pequeñas de Zirconio (6%) y Estaño (4%)(1).

Investigadores en este tema han incluso elaborado y caracterizado aleaciones basadas en Titanio-Molibdeno mejorando su modulo de elasticidad como el caso de Ti-23Hf-3Mo-4Sn, la cual tuvo como resultado una alta resistencia (~1 GPa), un bajo módulo de Young (55 GPa) y una recuperación de deformación de alrededor del 4 %. Lo cual catapulta esta aleación dentro de las mas prometedoras en el campo de la ortodoncia.(21) También la soldadura en frío incrementa la fricción ya que los arcos de adhieren a el slot del bracket y no permiten su desplazamiento, por esta razón se ha trabajado en realizar modificaciones a la aleación de estos arcos con nitrógeno y oxígeno, para disminuir su fricción.(22)

Las aplicaciones clínicas mas importantes de esta aleación es que ofrece niveles moderados de fricción y resiliencia, teniendo el 48% de la rigidez del acero inoxidable y el doble de flexibilidad, las presentaciones incluyen arcos redondos, cuadrados y rectangulares, siendo estos últimos de mayor calibre, los ideales para hacer dobleces de detallado y compensación al finalizar el tratamiento. Su uso puede desarrollarse en las tres fases del tratamiento ortodóntico, al principio en la alineación y nivelación, después en la fase de retracción de caninos y anteriores, utilizando biomecánicas sin fricción, ya que los dobleces y ansas se activan tres veces mas que las de el acero inoxidable por su alto modulo de elasticidad y en la etapa de finalización y detallado.(1,23)



Figura No. 3 A) Mecánica con fricción (cadena Elastomérica). B) Mecánica sin fricción (doblez en ansa)

Los arcos ortodónticos con aleación base en titanio-molibdeno mas comercializados actualmente son: TMA ® de ORMCO®, CNA ® de Ortho Organizers™ , Resolve de GAC ®, Beta 111 ® de Unitek ®, y el BT™ de American Orthodontics™, sin embargo, no todods son de fácil acceso en esta localidad y actualmente en México se abre camino una nueva marca, Ah Kim Pech® con su TTM Stylus®, por lo que esta investigación se hará con los arcos disponibles.(24)

3. JUSTIFICACIÓN

Los arcos ortodónticos juegan un rol muy importante en el tratamiento ortodóntico dado que son el punto clave de almacenamiento de energía para llevar a cabo los movimientos dentales (1,2), y de esta manera lograr los óptimos resultados no solo en el tratamiento ortodóntico sino en la restauración, conservación y mantenimiento de la cavidad bucal para la realización fisiológica-masticatoria, por lo tanto, es de suma importancia la calidad de los mismos y es por éstas razones que en éste estudio se determinarán las características morfológicas de los arcos como el tipo de superficie, la rugosidad, y el valor de la banda prohibida lo que permite establecer la capacidad de conductividad de los arcos, así como altura y anchura de valles y crestas de los materiales haciendo un comparativo entre ellos e identificar las mejores propiedades para elegir, debido a que se requiere una superficie mas lisa para mejorar el deslizamiento del arco sobre el slot del bracket adherido al diente y es bien sabido que pese a las buenas cualidades de los arcos de Titanio-Molibdeno su rugosidad pone a prueba el deslizamiento que pueda llegar a tener.

4. OBJETIVO GENERAL

Caracterizar mediante microscopía de barrido de tunelaje arcos ortodónticos de Titanio-Molibdeno rectangulares .017 x .025 recortados a 5mm de longitud de las marcas disponibles comercialmente al momento de la investigación en la ciudad de Chihuahua, que son ORMCO, GAC y Ah Kim Pech, para así identificar las mejores propiedades en los arcos de fácil acceso.

4. OBJETIVOS PARTICULARES

- Cortar y trasladar adecuadamente la muestra para llevarla al microscopio electrónico de barrido de tunelaje.
- Analizar las imágenes obtenidas.
- Determinar las características morfológicas de los arcos como el tipo de superficie y la rugosidad.
- Establecer la capacidad de conductividad de los arcos mediante el valor de la banda prohibida.
- Comparar la altura y anchura de valles y crestas de los arcos.
- Comparar los precios de las diferentes casas comerciales que fabrican arcos de TMA disponibles en la ciudad de Chihuahua México.
- Definir cual de los arcos observados presenta las mejores características para el tratamiento ortodóntico.

6. HIPÓTESIS

Existen diferencias morfológicas entre los tipos de arcos ortodónticos de titanio molibdeno de las marcas Ormco®, GAC®, y Ah Kim Pech®, sobre todo en la rugosidad que afecta el deslizamiento del arco sobre el bracket en el tratamiento ortodóntico.

7. MARCO TEÓRICO

Los tratamientos ortodónticos iniciaron con el uso de cuerdas de caucho e hilos como elemento activo anclados a los dientes para generar movimientos que hicieran ver a los dientes mas alineados, posteriormente usaron metales puros para la confección de alambres para este uso, pero eran muy blandos y tendían a corroerse: después, para mejorar sus propiedades empezaron a mezclarlos y formar aleaciones que se desarrollaron aún mas durante la primera guerra mundial cuando al haber falta de insumos para su elaboración, se crearon diferentes composiciones metálicas que sustituyeran a las ausentes.(1)(2) Pero no fue hasta 1980 que fue desarrollado el uso de la Aleación de Titanio Molibdeno (TMA) para su uso y aplicación en ortodoncia.(5)(15) Sus propiedades mejoraban a las del Níquel-Titanio y el Acero Inoxidable (SS), por lo que fueron rápidamente aceptados por los especialistas, sin embargo su alta fricción y su alto módulo de elasticidad, hizo que se evaluaran las características morfológicas que las determinaban, es por eso que algunos autores buscaron comparar las superficies de los arcos ortodónticos a su alcance. (15)(25)

7.1 Desarrollo Histórico de las Aleaciones en los Arcos Ortodónticos

Los primeros usos de los arcos ortodónticos datan del siglo XIX donde para juntar o alinear los dientes usaban hilos y cuerdas, posteriormente en el siglo XX empezaron a usar vulcanita procesada y caucho. Mas adelante, a finales de este

siglo se desarrollaron hilos de plata alemana que resultaban ser mas resistentes y menos corrosivos.(1) Para 1888 con el descubrimiento de los metales nobles y sus altas propiedades de resistencia a la corrosión, ductilidad, y resistencia a la fractura y deformación además de que podían ser soldables, se fabricaron arcos de diversos metales y aleaciones(17). En 1930 las aleaciones con base en oro ganaron terreno en la fabricación de alambres para uso dental (26), se combinaba con otros metales quedando la aleación compuesta por un 50% de oro, 16% de cobre, 23% de plata, 5% de paladio, 5% de platino y 1% de níquel, sin embargo, resulto ser muy blanda y sus resultados eran lentos. Después llegaron las aleaciones de latón, también llamadas de “cobre amarillo”, las cuales estaban compuestas por cobre y zinc, esta aleación tenia las ventajas de ser muy maleable y tener una alta ductilidad por lo que su uso primordial era para separar los dientes y colocar bandas entre ellos. Posteriormente a partir de 1940, se dieron a conocer las aleaciones de acero inoxidable compuestas por hierro o ferrita 73.8%, 18% de cromo, 8% de níquel, y .20% de carbono que le proporciona dureza, las cuales seguimos usando en la actualidad ya que tienen un buen módulo de elasticidad, una baja fricción, resistencia a la corrosión y a la deformación, un bajo costo, excelente maleabilidad, además de su facilidad para ser soldadas(7), lo ponen entre uno de los materiales de elección para la confección de arcos ortodónticos en técnicas que necesitan deslizamiento, torques finos y dobleces compensatorios en fases activas y de finalización de los tratamientos, vale la pena aclarar que también tiene unas muy grandes desventajas que son la disminuida resiliencia y la aumentada rigidez. Después se introdujo la aleación de alambre australiano también llamado “Wallaby”

que era un acero inoxidable compuesto por 17% de cromo, 12% de níquel y 64% de hierro que contaba con las mismas propiedades que el anterior, pero con mayor resiliencia, liberación de fuerzas altas y deflexión, pero seguía siendo rígido, quebradizo y con una menor recuperación. A continuación en 1950, salieron a la venta los arcos de cromo-cobalto, también llamados Elgiloy(5), compuestos por 40% de cobalto, 20% de cromo, 15% de níquel, 7% de molibdeno y 16% de hierro, los cuales tenían una mayor resistencia a la fatiga, menor fricción, buena resistencia a la corrosión, lo cual representaba una buena opción, pero en 1972(1,5), con la reciente aparición del titanio para uso médico, se elaboraron los arcos con aleación de níquel-titanio (NiTi) y nitinol, que contenían 52% de níquel, 45% de titanio, 3% de cobalto y 55% de níquel y 45% de titanio, respectivamente, estos arcos innovaron al liberar fuerzas continuas y constantes, además de tener una flexibilidad y memoria de forma, pudiéndose usar en todas las fases del tratamiento con una alta recuperación a la deformación, pero tenía de desventaja que era menos resistente a la corrosión que el acero, no podía ser soldado, tenía un costo intermedio y el níquel causaba alergia en algunos pacientes. Es por eso que tratando de solucionar estas situaciones, en 1979(5), introdujeron los arcos ortodónticos con aleación base de titanio-molibdeno también llamados Beta-titanio(15)(27), compuestos por 11.3% de molibdeno, 6.6% de zirconio, 4.3% de Estaño, y 77.8 % de titanio, que tenían las características de aplicar menos fuerza y tener menos fricción que el NiTi(10), con una mayor recuperación y la ventaja de que podía ser doblado para las mecánicas sin fricción por lo que tenía la flexibilidad del acero y con la posibilidad de ser soldable con soldadura de punto únicamente(28)(29), a pesar de esto, era muy

costoso y producía mayor fricción que el acero, lo que lo volvía quebradizo. Es por eso que, tratando cada vez más de mejorar las características de los arcos, en 1990 se confeccionó la aleación de cobre-níquel-Titanio (CuNiTi) compuesta por 52% de níquel, 45% de titanio y 3% de cobre, que es un alambre superelástico, posee menor fuerza que NiTi, con una mayor recuperación y memoria de forma, pero tampoco se puede soldar y es muy costoso. Luego aparecieron los arcos trenzados confeccionados principalmente de acero con una menor rugosidad y resiliencia, pero produciendo una mayor fricción. En segunda instancia y con la aparición de los brackets estéticos, se optó por buscar componentes de acuerdo a los anteriores, creando así los arcos de composite y fibra de vidrio que por su composición es común que se fracture, los de acero inoxidable cubiertos con teflón, altamente corrosivos y finalmente en 1992 los arcos Optiflex, compuestos por un núcleo de sílice, un revestimiento de silano y un baño de nylon lo que los hacía casi invisibles a la vista, dentro de sus ventajas principales están la flexibilidad, la liberación de fuerzas, y resistencia a las manchas, y en sus desventajas se observa que no es posible usar ligadura metálica sobre este arco porque se fractura, tampoco se puede usar en cierre de espacios, necesita pinzas especiales para su colocación y corte, además de ser muy costoso y con baja recuperabilidad(1,5). Actualmente se han hecho cambios físicos y químicos a las aleaciones existentes de manera que cambie su morfología por medio de la adhesión de partículas de diferentes materiales o bien baños de color para reducir la fricción, como lo reportado por Wichelhaus donde se implantaron iones sobre arcos NiTi superelásticos para disminuir su fricción antes de someterlos al medio oral.(30)

7.2 Clasificación de Arcos Ortodónticos.

Las propiedades de los arcos de ortodoncia y su comportamiento elástico varían de acuerdo con la composición o aleación metálica, el método de fabricación, los cortes que determinan su morfología y la técnica aplicada para su activación. Por lo que podemos dividir la clasificación en varias partes.

- Por arcada: Esta relacionada con la técnica o los gustos personales que utiliza cada ortodoncista. Las diferentes formas de arcada pueden influir en la expansión del arco por lo que a criterio del especialista se pueden usar arcos Trueform, Europa II, Oval, Chico, mediano, grande, curva inversa o reversa, etc.
- Por grosor: Los calibres más delgados tienden a producir fuerzas más ligeras y conforme se va incrementando el calibre, también van aumentando las fuerzas, según la necesidad de movimiento del órgano dental.
- Por aleación: De acuerdo con el material con el que están confeccionados, que se revisó anteriormente.
- Por forma: Referente a la manera de fabricación que puede ser redonda, cuadrada, rectangular, que a su vez pueden ser trenzados o multifibras adoptando formas antes mencionadas.
- Por calibre: Las dimensiones de los diferentes arcos ortodónticos van desde .08 pulgadas hasta el .021 x.025 pulgadas.

7.3 Características que Debe Tener una Aleación Para un Arco Ortodóntico

Ideal(18).

- Tolerar el control en los tres planos del espacio.
- Tener moldeabilidad.
- Resistir las fuerzas de trabajo.
- Ajustarse a la técnica o biomecánica empleada por el especialista.
- Ser biocompatibles.
- Ser inocua.
- Ser suave.
- Resistente a la corrosión.
- Alto almacenamiento de energía.
- Baja fricción.
- Amplio rango de trabajo.
- Costo razonable.

7.4 Factores que alteran las características de un arco ortodóntico.(2,31)

- Aleación: Depende de la estructura molecular de los metales usados para su confección.
- Diámetro: Este puede aumentar o disminuir su rigidez, resistencia y rango de trabajo si son redondos, cuadrados o rectangulares.

- Longitud: El aumento de la longitud cuando se elaboran ansas, disminuye la fuerza ejercida por lo que, a mayor área de acción, mayor flexibilidad.
- Manipulación: El llevarlo a un medio intrabucal, realizar cambios, físicos, térmicos o químicos.

7.5 Composición y Propiedades de los Arcos Ortodónticos de Titanio

Molibdeno.(15,27)

La composición primordial de los arcos de TMA es de:

- 11.3% de Molibdeno
- 6.6% de Circonio
- 4.3% de Estaño
- 77.8% de Titanio

Sin embargo, estas proporciones cambian de acuerdo con las casas comerciales que las fabrican.

- Las propiedades que destacan de los arcos de titanio molibdeno son:
- La mitad del módulo de elasticidad del níquel titanio y el doble del acero inoxidable
- Es muy maleable.
- Biocompatibilidad y resistencia a la corrosión.
- Alta capacidad de rango y retorno elástico.
- Soldabilidad.

7.6 Usos de los Arcos Ortodónticos de Titanio Molibdeno(4,15,18).

- En pacientes con afectaciones periodontales.
- En pacientes alérgicos al Níquel.
- En pacientes donde se emplearán mecánicas sin fricción.
- En la fase de alineación y nivelación.
- En la fase intermedia de retracción de caninos y de segmento anterior.
- En la fase de terminado y detallado.

7.7 Consideraciones Biomecánicas Para el Uso de Arcos Ortodónticos de Titanio Molibdeno (15,27)

- Es resistente a la corrosión.
- Ofrece niveles moderados de fuerza, formalidad y resiliencia.
- Tiene el 42% de rigidez del acero inoxidable y el doble de flexibilidad.
- Posee mayor flexibilidad para realizar un dobléz de torque.
- No contiene níquel
- Es tan maleable que llega a ser quebradizo
- Capacidad aumentada de rango y retorno elástico
- Cuando se necesita un mayor torque o dobleces para perfeccionar el caso
- Cuando se requieren dobleces y/o torsión moderada

- Cuando se requieren ajustes y un mínimo de torsión
- Eficientes en el detallado y finalización del tratamiento.

Las presentaciones de calibres en arcos ortodónticos de TMA son cuadrados y rectangulares de las siguientes dimensiones:

- .016x.022 Pulgadas.
- .017x.025 Pulgadas.
- .018x.022 Pulgadas.
- .018x.025 Pulgadas.
- .019x.025 Pulgadas.
- .021x.025 Pulgadas.

Siendo los mas utilizados el .017x.025 o .019x.025 pulgadas en las etapas finales de tratamiento.(14)

7.8 Marcas Comerciales Más Usadas en México de Arcos Ortodónticos de Titanio Molibdeno

No hay un antecedente que describa cual es el mas usado pero es bien sabido que la comercialización de arcos depende de la oferta y la demanda como en cualquier otro material ortodóntico, sin embargo, en el caso de los arcos ortodónticos de titanio

molibdeno se ve afectada la demanda por el alto costo a pesar de los numerosos beneficios que implica su uso, entre los mas pedidos se encuentran los TMA® y TMAL® de baja fricción de ORMCO®, BT™ de American Orthodontics®, Resolve® de GAC®, Beta III® de 3M/Unitek®, TiMolium® de TP® y recientemente los TTM Stylus® de Ah Kim Pech® (AKP).(25)

Vale la pena aclarar que los arcos de marca GAC actualmente se encuentran en una etapa de transición de marca según lo informado por la página oficial de ORTHO TECHNOLOGY®, quien se adjudicó la distribución de la anterior marca ya que dejó recientemente de pertenecer a Dentsply que distribuía GAC®, sin embargo los componentes y fabricación siguen siendo los mismos, solo cambió el nombre de Resolve® Beta Titanium wires por el de BetaForce™ Beta titanium archwires y se sigue vendiendo en los mismos establecimientos por lo que sigue activo en el mercado.

7.9 Comparación de las Características de Diferentes Marcas Comerciales de Arcos Ortodónticos de Titanio Molibdeno.

La bibliografía encontrada es limitada y apunta a las comparaciones entre arcos de diferentes aleaciones como lo descrito por D'Anto, cuando evaluó la rugosidad de arcos ortodónticos de Acero, NiTi y Titanio Molibdeno con un microscopio de fuerza atómica.(22) Otro Autor que evaluó la rugosidad de los arcos fue Bourauel, sin embargo solo incluyó en su estudio un arco de TMA de la marca Ormco, de diferente calibre al que usaremos en el presente estudio (.016 x .022 pulgadas), en contraste

con los mas de 7 arcos Niti y otras aleaciones. (32) Otras comparaciones fueron hechas en base a los cambios en la superficie de los arcos de TMA, cuando eran sometidos a la adición de partículas de zirconia, (33) cuando se cambiaban de ambiente a uno intraoral o eran expuestos a cambios químicos o soluciones como el flúor (34) o cuando eran doblados o manipulados según sus diferentes formas, ya sea cuadrado o rectangular,(9,35,36).

Solo Kusy y Cols. compararon la rugosidad en la superficie de 6 marcas de aros de Titanio-molibdeno, encontrando que la rugosidad no puede ser disminuída drásticamente cuando se le adhieren iones.

Alexander y Cols. revisaron la superficie de dos arcos coloreados de TMA de baja fricción(24).

7.10 Microscopio Electrónico de Barrido de Tunelaje.

La función de este microscopio, tambien llamado microscopio de efecto túnel, emplea una técnica mediante la cual un electrodo metálico, en este caso de platino e iridio, se aproxima a la superficie de la muestra, (el arco ortodóntico de TMA), el cual actúa como un segundo electrodo. La punta se desplaza con la ayuda de tres brazos piezoeléctricos, perpendiculares entre sí, mientras que un mecanismo permite acercar la muestra a la punta hasta una distancia de 0.1 μm ; y con un piezoeléctrico se termina de aproximar la punta a la muestra. Cuando la distancia entre la punta y la muestra es de $\sim 5 \text{ \AA}$, los electrones pueden pasar de una a la otra por efecto túnel. Si en ese momento se puede conseguir una diferencia de

potencial adecuada, (entre 1 y 0.01 V), se genera una corriente túnel del orden de 1 nA. Los electrones fluyen de la punta a la muestra o viceversa dependiendo de la polaridad. Esta corriente es sumamente sensible a la distancia punta-superficie, rectificándose en un orden de magnitud para un incremento de 1 Å en esa separación. En este procedimiento, la distancia de la punta a la muestra se varía aplicando un voltaje al piezoeléctrico a través de una unidad de contacto, de tal manera que la corriente túnel permanece constante a medida que la punta barre la superficie de la muestra variando los potenciales de los otros dos piezoeléctricos. Las variaciones en la posición de la punta describen la morfología de la superficie. Las inhomogeneidades electrónicas, tales como átomos con un exceso de carga negativa, también se reflejan en la posición de la punta. Los perfiles que se registran, como consecuencia de la variación en la altura de la punta frente a sus distintas posiciones laterales que manifiestan un mapa de los contornos de la superficie.

La facilidad de esta técnica se desarrolla por que la corriente túnel depende de la distancia de separación entre los dos electrodos.

Actualmente han sido empleadas diferentes técnicas para el estudio de la morfología de las superficies de arcos ortodónticos, como la microscopía de fuerza atómica y la electrónica de emisión de campo, sin embargo, la técnica empleada en este estudio resulta tener una resolución por debajo de los 2 Å, que nos permite obtener una visión clara de la anchura y altura de las crestas y valles de manera

sencilla si lo comparamos con otras técnicas microscópicas mas complicadas y de mayor tamaño(37).

8. MATERIALES Y MÉTODOS

8.1 Materiales

Los materiales que se utilizaron para la investigación fueron los siguientes:

- Microscopio electrónico de Barrido de Tunelaje marca Nano Surf Easy Scan 2 con Puntas de Platino e Iridio las cuales son utilizadas para realizar el barrido.
- Arcos ortodónticos con base en la aleación titanio-molibdeno rectangulares, con calibre .017 x .025 pulgadas. De las marcas comerciales más usadas en la ciudad de Chihuahua, Chih., México que en este caso fueron Ormco ®, GAC ® y Ah Kim Pech ® cuya composición se describe en la tabla No. 1, de acuerdo a las fichas técnicas de cada marca. Las fotografías de lo empaques se muestran en el Anexo No. 1.

Tabla No. 1 Composición de Arcos de Titanio Molibdeno de Diferentes Marcas.

Casa comercial	Procedencia	Composicion %						
		Ti	Mo	Zr	Sn	Al	Mn	Cr
ORMCO	Orange, Ca USA	79	11	6	3.3	0.3	0.3	0.2
GAC	Bohemia, NY, USA	79.6	9.9	5.8	4	0.2	0.3	0.4
AH KIM PECH	México DF, MX	77.8	11.3	6.6	4.3	0	0	0

- Computadora Toshiba I7 con sistema operativo Windows
- Computadora Macbook Air (M1, 2020) Big Sur Versión 11.6

- Calibrador Vernier Digital Lenfech con Rango de 150mm/6inch, con pantalla LCD
- Pinzas de Corte Distal Hu Friedy 678-101L
- Pinzas de Curación Hu-Friedy DPU17
- Cinta Conductora de Doble Adhesión para portaobjetos marca Veeco
- Software MountainsLab® 9 con el cual se llevó a cabo el análisis y registro de las superficies de los arcos ortodónticos.

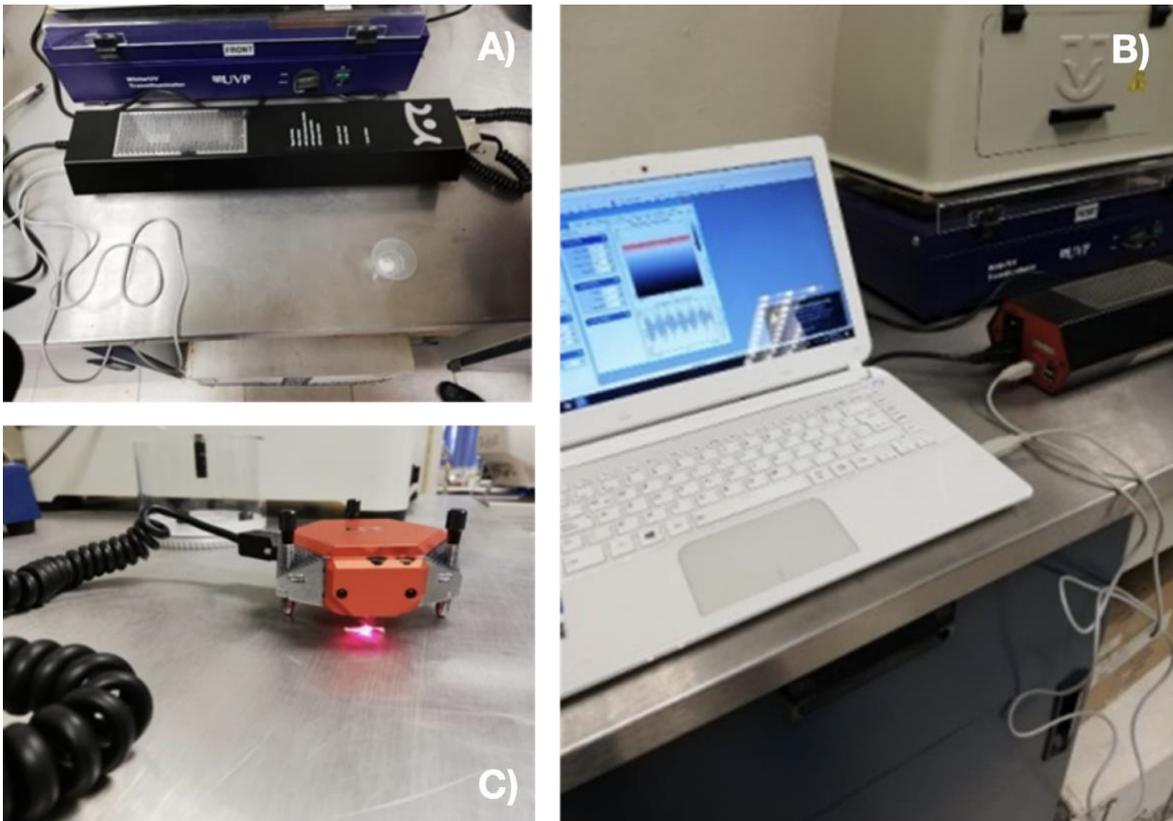


Figura No. 4. Componentes del STM. A) Controlador. B) Ordenador. C) Microscopio Electrónico de Barrido de Tunelaje.

8.2 Métodos

El estudio se llevo a cabo de manera observacional y descriptivo, en la Ciudad de Chihuahua, Chih., México, en la Maestría en Estomatología opción Ortodoncia en la Facultad de Odontología de la Universidad Autónoma de Chihuahua. El tamaño total de la muestra fueron 3 arcos ortodónticos cuya aleación estuvo basada en Titanio-molibdeno, que se identificaron por medio del empaque original en el que estaban depositados, de las casas comerciales ORMCO, GAC y Ah kim Pech. Todos los arcos eran rectangulares y tenían un calibre de .017 x.025 inch. en estado de nuevo, es decir sin uso, sin haber sido doblado o que en algún momento se haya sobrepasado su limite de elasticidad. Una vez seleccionado el arco se colocó en una superficie plana y con un vernier electrónico marca Lenfech con Rango de 150mm/6inch, con pantalla LCD, y se midieron 5mm desde el borde distal hasta la parte del segmento anterior del arco, una vez obtenida la distancia adecuada, se recortó el arco con una pinza Hu-Friedy 678-101L, esta pinza tiene la particularidad de que tiene seguro por lo que al realizar el corte, el extremo distal se queda suspendido en la pinza, de tal manera que con unas pinzas de curación marca Hu-Friedy DPU17 se tomó la muestra para ser colocada en el portaobjetos del microscopio electrónico de barrido de tunelaje, el cual contó con puntas de platino e iridio para realizar el barrido de electrones. Una vez colocada la muestra en el portaobjetos, se fijó mediante una cinta conductora de doble adhesión de la marca Veeco en cada extremo de la muestra para evitar que la muestra se moviera durante el registro. La manipulación de los arcos se realizó a temperatura ambiente y no fue

necesario usar algún agente químico para tratar a superficie de los arcos. La visualización de las imágenes en el microscopio se documentó por medio del procesamiento de estas en un software denominado MountainsLab9® del cual se obtuvieron micrografías en tercera dimensión, así como las características nanométricas de la superficie y de los arcos explorados, lo cual se analizó para identificar las diferencias entre ellos. Los parámetros de caracterización estuvieron establecidos por la marca de cada arco los cuales definieron la rugosidad de la superficie, la conductividad de la aleación, la anchura de valles y crestas, así como su altura y el costo de cada uno de los arcos.

9. CRITERIOS DE INCLUSIÓN

- Arcos ortodónticos cuya aleación base fuera Titanio-Molibdeno.
- Para arcada superior.
- De forma rectangular.
- Calibre de arco de .017 x .025 pulgadas.
- Que no hubieran sido usados, manipulados o doblados previamente.

10. CRITERIOS DE EXCLUSIÓN

- Arcos que no se encuentran disponibles comercialmente en la localidad al momento de la investigación.
- Arcos coloreados.
- Arcos tratados física o químicamente.
- Arcos de baja fricción.

11. CRITERIOS DE ELIMINACIÓN

- Arcos que al momento de sacarlos de su empaque original estuvieran dañados o doblados.

11. VARIABLE DEPENDIENTE

Evaluación morfológica y análisis de la superficie de los arcos de Titanio Molibdeno de tres diferentes marcas comerciales disponibles en la Ciudad de Chihuahua.

12. VARIABLES INDEPENDIENTES

Caracterización de los arcos mediante microscopía de barrido de tunelaje.

13. RESULTADOS

Se obtuvieron 4 tipos de imágenes de cada una de las muestras arrojadas por el microscopio electrónico de barrido de tunelaje que demostraron las diferencias en la superficie de los arcos. Las primeras son micrografías del alcance al cual se definió la superficie como lisa, en el caso del arco Ah Kim Pech® (AKP), fue a 500 μm donde se aprecia una textura lisa y uniforme, en el caso del arco ORMCO® se redujo notablemente la distancia ya que se encontró a 66.1 μm y la distancia mas cercana fue en el arco de la marca GAC® en la que se aprecian mayor cercanía a una distancia de 14.6 μm . Figuras no. 5, 6 y 7.

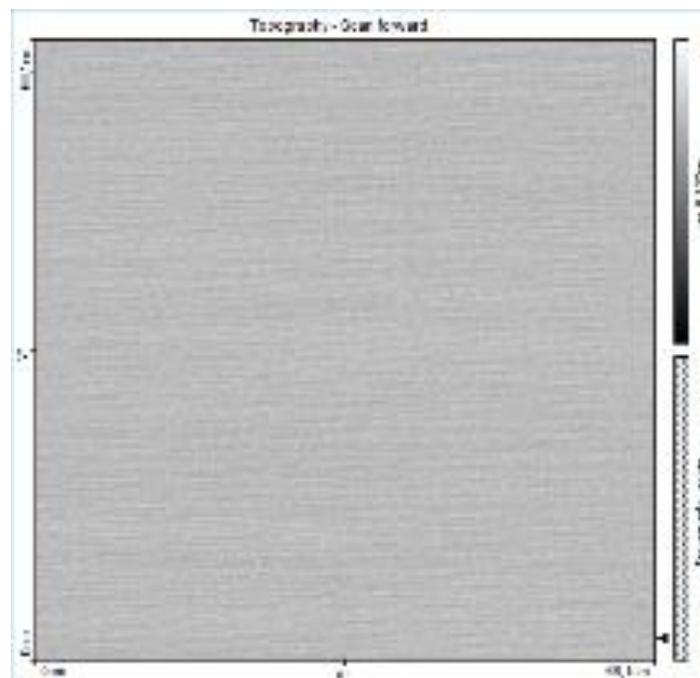


Figura No. 5. Micrografía Arco TMA® ORMCO®.

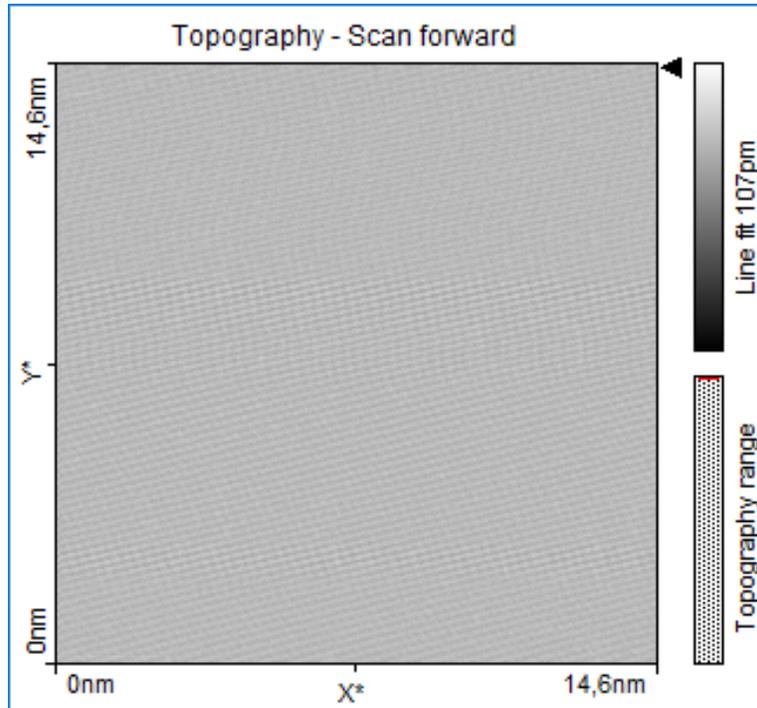


Figura No. 6. Micrografía Arco Resolve® GAC®

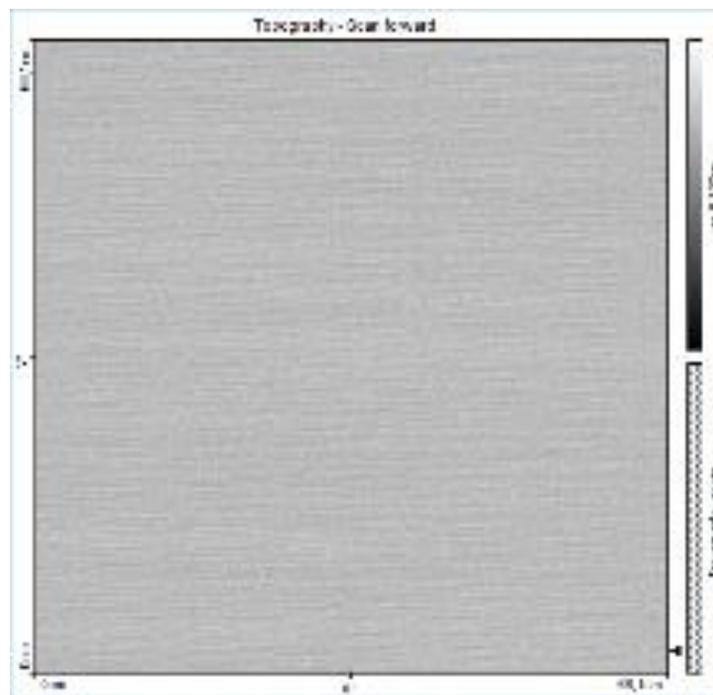


Figura No.7. Micrografía Arco TTM Stylus® AKP®.

En las siguientes imágenes se unificó la distancia de 25 μm para todas las muestras con un valor de banda prohibida de 2.75 electrón volt., y se obtuvieron fotografías topográficas de los arcos donde los colores oscuros mostraron la profundidad de surcos y perforaciones y los colores claros la altura de las crestas donde la muestra del arco GAC® manifiesta los colores mas claros y uniformes con excepción de 3 cráteres de forma circular, en el caso de la muestra correspondiente a AKP® se observan colores claros y oscuros mas intensos lo cual representa una mayor altura de crestas y profundidad de surcos, la muestra de ORMCO® presenta colores mas neutros sin llegar a tanta profundidad o altura. Figuras no.8, 9 y 10

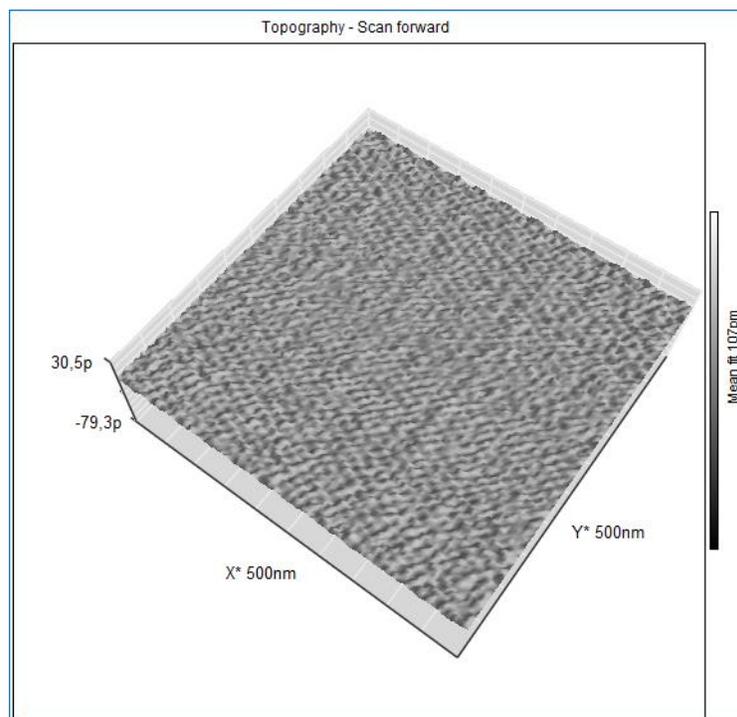


Figura No. 8. Micrografía Arco TMA® ORMCO®.

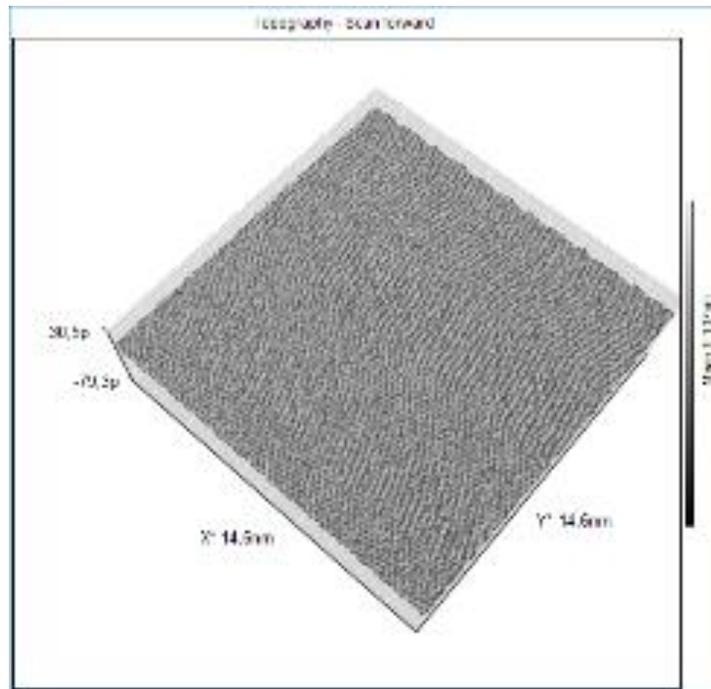


Figura No. 9. Micrografía Arco Resolve® GAC®.

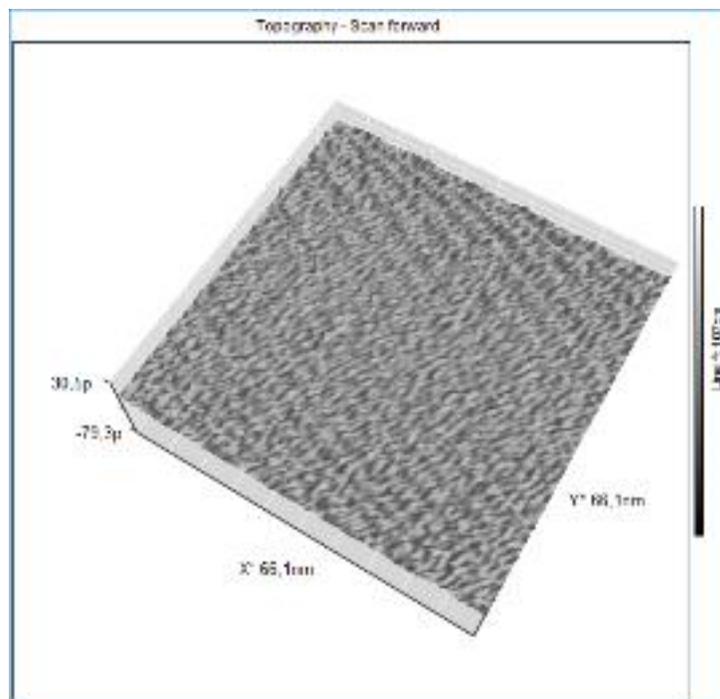


Figura No. 10. Micrografía Arco TTM Stylus® AKP®

La rugosidad se evaluó con micrografías 3d en las cuales muestran una superficie rugosa y estriada de las crestas y surcos en los casos de ORMCO® Y AKP®, por otro lado la muestra GAC® presentó una distribución más homogénea, con una mayor difuminación de las asperezas y menor puntilleo. Figuras No. 11, 12 y 13

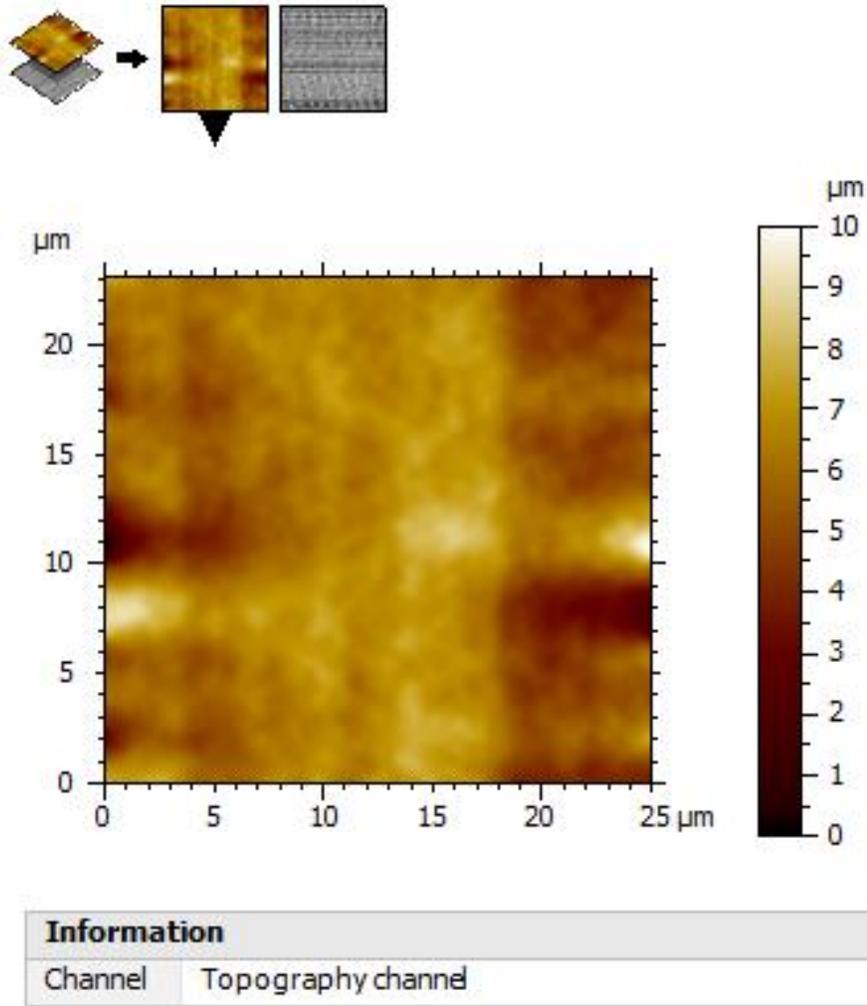


Figura No. 11. Micrografía Arco TMA® ORMCO®.

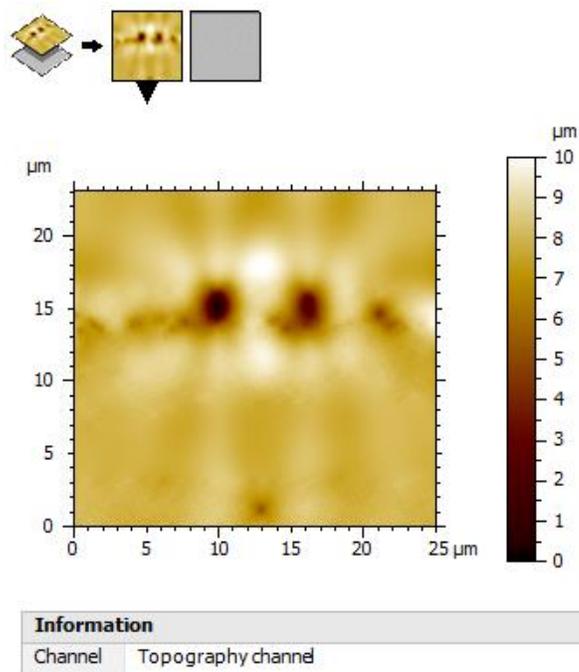


Figura No. 12. Micrografía Arco Resolve® GAC®.

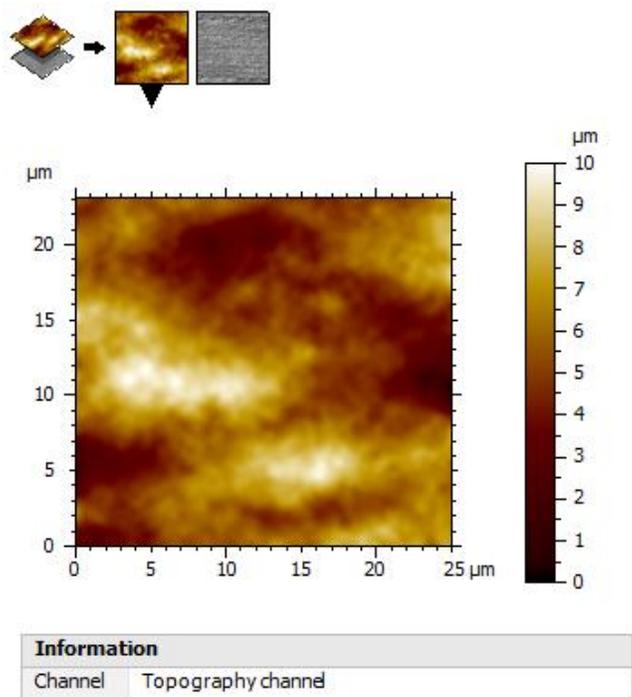


Figura No. 13. Micrografía Arco TTM Stylus® AKP®.

En la imagen 3d de los arcos GAC® se aprecia una superficie plana y finamente cuadriculada con cráteres y pequeñas crestas las cuales no son muy pronunciadas, la muestra de ORMCO® presenta múltiples crestas y surcos con una apariencia mas rugosa y ondulada en sus bordes laterales, finalmente en el ejemplar AKP® se observo una superficie rugosa irregular, con mayor altura de las crestas y picos mas pronunciados asi como valles mas cortos, y mayor profundidad de sus surcos. Figuras No. 14, 15 y 16.

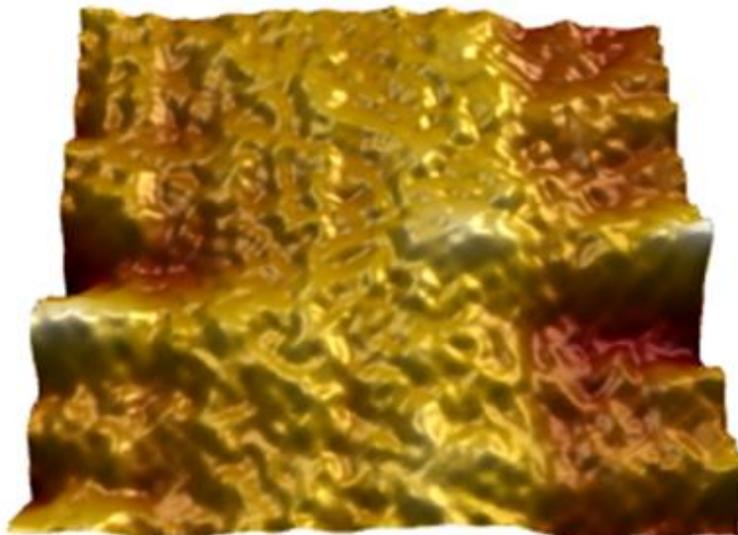
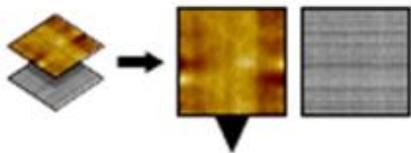


Figura No. 14. Micrografia 3D Arco TMA® ORMCO®.

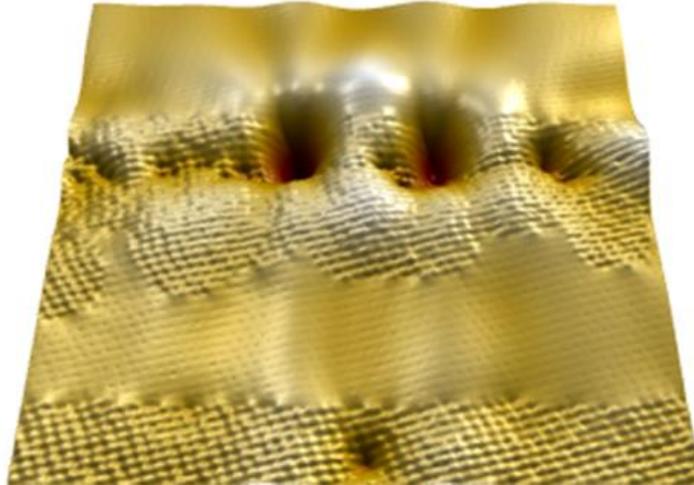
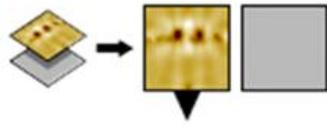


Figura No. 15. Micrografía 3D Arco Resolve® GAC®.

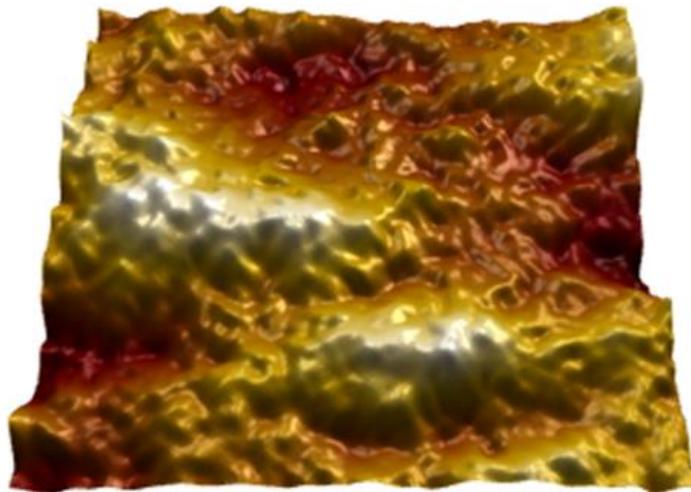
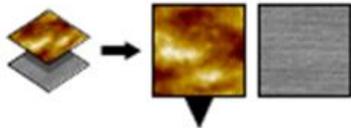


Figura No. 16. Micrografía Arco TTM Stylus® AKP®.

La evaluación morfológica de la superficie de los arcos ortodónticos analizados mostró diferencias en el valor de la profundidad máxima de los surcos donde el arco AKP® presentó una altura casi tres veces mayor a la del arco GAC® teniendo una distancia de 3.88 μm y 1.33 μm respectivamente y el arco ORMCO® se posicionó en segundo lugar con una profundidad de 2.93 μm . En el área del surco se contabilizaron 23.16 μm^2 para el arco ORMCO® y 17.76 μm^2 , para la muestra de AKP® y nuevamente la menor area la tuvo GAC® con solo 3.74 μm^2 . La altura máxima de las crestas fue para el arco de AKP® que mostró una distancia de 3.52 μm , en la segunda posición quedó ORMCO® con 2.87 μm y la menor altura fue para GAC® con 0.97 μm . Finalmente la mayor área de la cresta la obtuvo AKP® con 22.08 μm^2 seguido de ORMCO® con 16.98 μm^2 y los surcos mas pequeños los tuvo GAC® con 6.64 μm^2 . Tabla No. 2. Figuras No. 17, 18 y 19.

Tabla No. 2. Parámetros de los Arcos Ortodónticos de Titanio-Molibdeno.

Parametros	ORMCO	GAC	AKP	Unidad
Profundidad máxima	2.936	1.339	3.881	μm
Área del Valle	23.18	3.743	17.76	μm^2
Altura Máxima	2.878	0.9758	3.528	μm
Área de la cresta	16.98	6.645	22.08	μm^2

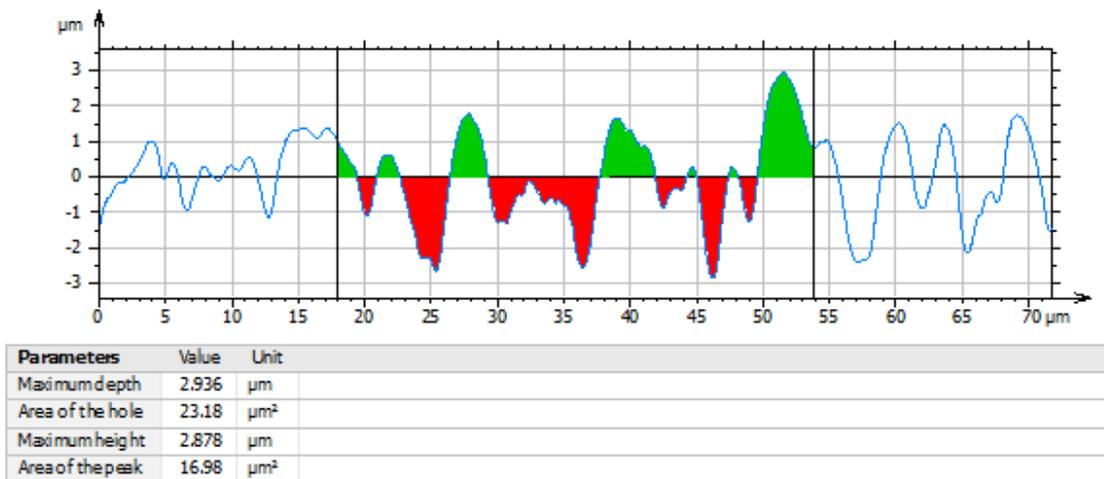


Figura No. 17. Parámetros Arco TMA ® ORMCO ®

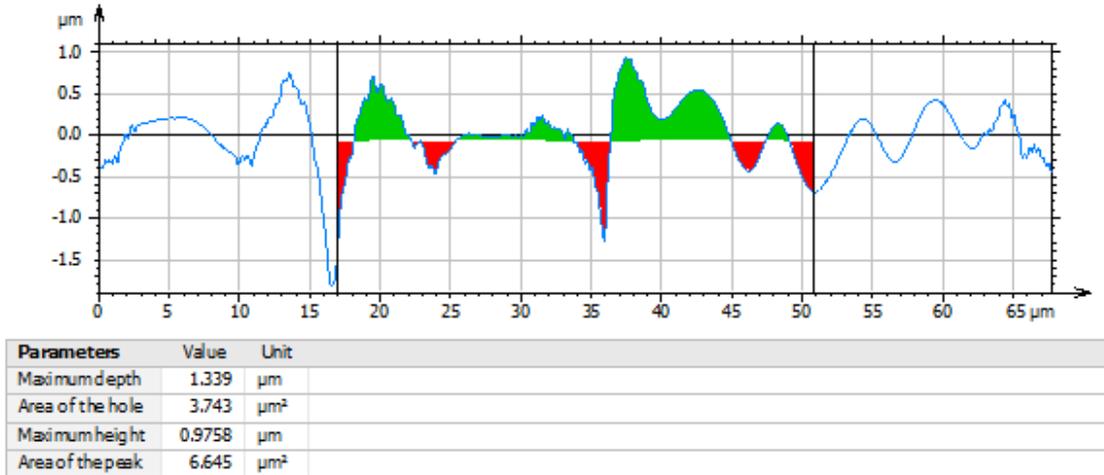


Figura No. 18. Parámetros Arco Resolve ® GAC ®

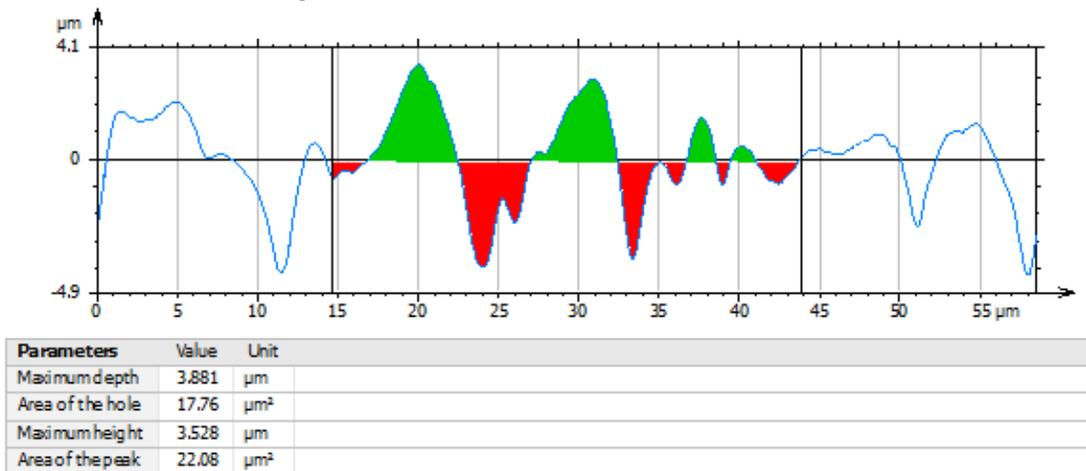


Figura No. 19. Parámetros Arco TTM Stylus® AKP®.

En cuanto a los costos de arcos ortodónticos se proporcionaron en dólares directamente de las páginas oficiales de las marcas evaluadas al momento del estudio y no se presentaron variaciones significativas respecto a las diferentes marcas como lo muestra la Tabla No. 3 donde la marca nacional no fue la menos costosa como era de esperarse, sino que se situó a la mitad de la escala, sin embargo esto puede ser modificado de acuerdo a los costos de transporte e importación que supone un costo adicional, el cual no fue tomado en cuenta ya que el propósito del conocimiento del costo es de acuerdo al material de fabricación.

Tabla No. 3. Costos de Arcos de Titanio-Molibdeno en dólares por unidad.

Marca	Producto	Costo
ORMO®	TMA®	\$6.23
GAC®	Resolve®	\$6.12
AKP®	TTM Stylus®	\$6.15

Esto pone de manifiesto que la superficie mas lisa la tiene GAC® seguida de ORMCO® y finalmente AKP® por lo que se deduce que las mejores características, mejor precio y que generará menor fricción es de los arcos GAC® produciendo un mayor deslizamiento y movimientos dentales mas óptimos y predecibles.

14. DISCUSIÓN

La influencia de las diferentes características morfológicas de la superficie del arco de ortodoncia, determinan el grado de fricción que estará presente durante el deslizamiento, es por esto que el ortodoncista debe estar informado de las diferencias entre los materiales de última generación que regularmente usan en el consultorio dental y de esta forma lograr resultados mas eficientes en el tratamiento que desencadenen el cumplimiento de los objetivos establecidos al inicio del tratamiento(17). Los arcos ortodónticos con aleaciones a base de Titanio-Molibdeno han sido evaluados previamente por sus múltiples propiedades, es por eso que algunos investigadores han escrito sobre el grado de fricción que desencadenan, como el caso de los nuevos arcos de ORMCO® “Low friction” que fueron comparados con los arcos convencionales de TMA y de Acero en un calibre de .016x.022, donde el parámetro de rugosidad fue mas grande para el Arco convencional, seguido del arco de baja fricción y el menor, el de acero, lo que coincide con los resultados obtenidos para la misma marca GAC® por este estudio, donde la rugosidad del arco se mantiene igual. (38) Por otro lado, se investigo la fricción estática en arcos de TMA convencionales y se comparo contra los arcos de baja fricción y de acero de la misma marca ORMCO®, resultando tener el valor mas alto de fricción el arco convencional, demostrando que el tratamiento indicado para este tipo de arcos es una biomecanica sin fricción(39). Tambien se evaluaron las diferencias entre la perdida de fuerza de estos mismos arcos durante el movimiento de deslizamiento, teniendo una mayor resistencia el arco de acero inoxidable

seguido de el convencional, y finalizando con el de baja fricción, pero como se mencionó antes, la comparación solo fue en una sola marca de arcos (ORMCO®)(40).

Se eligió un arco rectangular de .019 x .025 pulgadas, por la facilidad en la que se puede orientar sobre el soporte del microscopio.(41) Es bien sabido que la calidad de las aleaciones, difiere de una marca a otra así como sus características, como se comprobó en este estudio, sin embargo otros autores refieren que la rugosidad en la superficie cambia incluso en cada lado de un mismo arco(42), o implantando iones para reducirla, como sucedió a Manu Krishnan y Cols. donde disminuyó un 48.9%.(43), o bien, recubriendo los arcos con zirconio para disminuir sus grietas(33), por lo que se podría ampliar esta investigación haciendo una visualización por ambos lados, añadiendo iones a la superficie, o poniéndoles un recubrimiento de algún material que los haga mas suaves, de igual forma otros autores han utilizado diferentes técnicas de caracterización de las aleaciones en arcos ortodónticos de TMA como lo es la microscopía electrónica de transmisión o la de alta resolución(44).

La rugosidad de la superficie de los arcos es la principal culpable de la resistencia a la corrosión, la cual se ha medido en diferentes marcas y aleaciones de arcos ortodónticos, sin embargo, los arcos de TMA han presentado una mayor cantidad de asperezas que el níquel-titanio y el acero(20,45–47).

En la búsqueda de aleaciones con más propiedades se han desarrollado nuevos arcos cuyas características nanométricas pueden hacer la diferencia en el deslizamiento que pueda obtenerse durante el tratamiento, por esta razón el autor Pradeep Babu y Cols(48). Evaluaron y compararon la morfología de arcos de acero, Titanio-Molibdeno, Timolium y Titanio-Niobio de .016x.022 antes y después de colocarlos en un paciente durante 3 meses por medio de un microscopio electrónico de barrido dando por resultado que los arcos nuevos de TMA de la marca ORMCO mostraron pequeños cráteres y rugosidades que atribuyeron a los procesos de manufactura similar a lo que apreciamos en los resultados del presente estudio, sin embargo una área de oportunidad sería evaluar los arcos después de procesos químicos y físicos como lo son el medio intrabucal y los dobleces(49,50), los enjuagues o pastas con flúor(34), así como las transiciones térmicas(51), lo cual puede provocar variaciones en la activación y desactivación de las fuerzas ejercidas por el arco.(52) Bourauel y Cols. determinaron la rugosidad de la superficie del arco por medio de tres diferentes métodos microscópicos (de fuerza atómica, laser y perfilometría) los resultados que obtuvieron fueron de aproximadamente de una rugosidad de .21 micras para los arcos de TMA marca ORMCO®, de calibre .016x.022 medidas similares arrojadas por nuestro estudio(53). También Yousif y Cols. probaron por medio de un microscopio óptico digital y otro de fuerza atómica que la rugosidad aumentaba con el uso clínico en pacientes durante un mes, y que los Arcos de TMA eran menos rugosos (con un promedio de 138,5 μm) que los NITI (con un promedio de 211.8 μm) para arcos nuevos(54), contrario a la mayoría de la

bibliografía documentada donde las aleaciones con base en níquel titanio tienen superficies más lisas. (55)

Los arcos ortodónticos se han procesado con diferentes sustancias similares al medio bucal para encontrar defectos en su superficie, como lo es el caso del tratamiento tópico con flúor en el que observaron cambios corrosivos en la morfología de la superficie que genera mayor rugosidad y retraso en el tiempo de tratamiento.(56)

El interés por crear arcos estéticos con las características de la aleación de titanio-molibdeno ha ido en aumento de manera que se han investigado arcos de calibre parecido al presente estudio (.017x.025), pero recubiertos por medio de oxidación electrolítica por plasma y se analizó su superficie, solo que en este estudio además de usar la microscopía de barrido, también usaron estereomicroscopía para realizar pruebas de citocompatibilidad, resultando una capa blanquecina de 15 a 20 μm .pero según el análisis solo serviría para arcos rectos o predoblados lo cual limita los procedimientos ortodónticos que se pudieran realizar con dichos arcos.(57,58) Otras investigaciones se realizaron con arcos recubiertos coloreados (púrpura y miel) las cuales resultaron en una mayor rugosidad para el arco de TMA regular (24,59), por este motivo es que este tipo de arcos no entraron en nuestra investigación.

Para el procesamiento de las imágenes emitidas por el microscopio electrónico de barrido de tunelaje, se seleccionó el software mas completo de acuerdo a las necesidades del presente estudio(11), pero otros autores han usado el Gwiddion para análisis de microscopio de fuerza atómica como lo fue el caso de V. D´Anto y Cols. que evaluaron la rugosidad de los arcos TMA ® de marca ORMCO® y GAC®, de un calibre .016x.022 y encontraron que la implantación de iones la reducía considerablemente.(22)

La falta de información a cerca de las especificaciones sobre la morfología de la superficie de los diferentes arcos ortodónticos, de uso más común que están disponibles en el mercado hace que el ortodoncista busque opciones mas básicas y poco novedosas, lo cual disminuye las posibilidades de mejorar los tiempos de tratamiento y su eficiencia, es por esta razón que este estudio representa una alternativa para mejorar las opciones en la adquisición de arcos ortodónticos novedosos y con mejores propiedades que los de uso común, así como un reto para los fabricantes de mejorar la calidad de la superficie de sus arcos.(60)

No se encontró en la literatura revisada, reportes de caracterización de arcos solo de TMA de diferentes marcas, comercializados en Mexico, Kusy y Cols. hicieron una revision de arcos de titanio-molibdeno encontrando que la superficie mas lisa la tenían los arcos de la marca GAC ®, datos equivalentes a los encontrados por este estudio. Los demás reportes apuntan a combinaciones de marcas y de aleaciones(12,25), por lo que el presente estudio sirve de precedente para impulsar

a las futuras generaciones a investigar más sobre las nuevas aleaciones en las presentaciones de diferentes casas comerciales.

15. CONCLUSIONES

El tratamiento ortodóntico debe estar sustentado por la correcta capacitación de los operadores en sentido de saber las características morfológicas de los elementos activos en el el plan de tratamiento, es por eso que se caracterizaron 3 arcos de titanio molibdeno de diferentes casas comerciales por medio de la observación a través de un microscopio electrónico de barrido de tunelaje el cual mostró imágenes en segunda y tercera dimensión de las superficies de los arcos, donde la marca GAC mostró amplios valles de zonas cuadrículadas con cráteres y menos regiones elevadas que sus homólogos de aleación, ya que en la marca AKP se muestran múltiples zonas irregulares con crestas mas elevadas y surcos mas profundos, a la mitad de esta variación se encontró la marca ORMCO que obtuvo valores promedio entre los dos anteriores, definiendo así la mayor rugosidad para AKP, seguido de ORMCO y la Menor para GAC, con la que se presume que tendrá mejor deslizamiento, respecto al precio no hubo diferencias significativas respecto a la marca nacional AKP como era de esperarse.

16. BIBLIOGRAFÍA

1. Gonzalo Alonso Uribe Restrepo. Ortodoncia. Teoria y Clinica. 2nd ed. Investigacion CC para IB, editor. Medellin Colombia; 2010. 1312 p.
2. Proffit W. Ortodoncia Contemporanea. 5th ed. elsevier, editor.
3. Barrer AP. Orthodontics: Current Principles and Techniques, 4th Edition. Vol. 102, Alpha Omegan. 2009. 39–39 p.
4. Sidhu SS, Singh H, Gepreel MAH. A review on alloy design, biological response, and strengthening of β -titanium alloys as biomaterials. Mater Sci Eng C [Internet]. 2021;121(September 2020):111661. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.msec.2020.111661>
5. Krishna Alla R, Mohammed S, Sekhar Kotha R, Shammam M, Krishna Ravi R. An Overview of Orthodontic Wires. Trends Biomater Artif Organs [Internet]. 2014;28(1):32–6. Available from: <http://www.sbaoi.org/tibao>
6. Widu F, Drescher D, Junker R, Bourauel C. Corrosion and biocompatibility of orthodontic wires. J Mater Sci Mater Med. 1999;10(5):275–81.
7. Giraldo OL. Metales y aleaciones en odontología . Rev la Fac Odontol la Univ Antioquía. 2004;15(2):53–63.
8. Alavi S, Sinaee N. Effect of dry heat and steam sterilization on load-deflection characteristics of β -titanium wires: An in vitro study. Dent Res J (Isfahan).

2012;9(5):541.

9. Drake SR, Wayne DM, Powers JM, Asgar K. Mechanical properties of orthodontic wires in tension, bending, and torsion. *Am J Orthod.* 1982;82(3):206–10.
10. Ho KS, West VC. Friction ... Friction resistance between edgewise brackets and archwires. *Aust Orthod J.* 1991;12(2).
11. Open Course Ware UC3M. Microscopía de efecto túnel y Microscopía de Fuerza Atómica. Apuntes [Internet]. 2015;1–25. Available from: http://ocw.uc3m.es/ciencia-e-oin/microscopia-de-fuerza-atmica/otros-recursos-1/Apuntes_STM_y_AFM_00.pdf
12. Krishnan V, Kumar KJ. Mechanical properties and surface characteristics of three archwire alloys. *Angle Orthod.* 2004;74(6):825–31.
13. Drake SR, Wayne DM, Powers JM, Asgar K, Gurgel JA, Pinzan-Vercelino CRM, et al. Hypersensitivity to metals in orthodontics. *J Mater Sci Mater Med* [Internet]. 2016;81(3):478–83. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.msec.2014.11.023>
14. Gurgel JA, Pinzan-Vercelino CRM, Powers JM. Mechanical properties of beta-titanium wires. *Angle Orthod.* 2011;81(3):478–83.
15. Chang HP, Tseng YC. A novel β -titanium alloy orthodontic wire. *Kaohsiung J*

- Med Sci. 2018;34(4):202–6.
16. Froes FH, Bomberger HB. Beta Titanium Alloys. *J Met.* 1985;37(7):28–37.
 17. Coa P. Fricción En Ortodoncia. *Evidencias en Odontol Clínica.* 2019;2(2):66.
 18. Kapila S, Sachdeva R. Mechanical properties and clinical applications of orthodontic wires. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 1989;96(2):100–9.
 19. Vijayalakshmi RD, Nagachandran KS, Kummi P, Jayakumar P. A comparative evaluation of metallurgical properties of stainless steel and TMA archwires with timolium and titanium niobium archwires - An in vitro study. *Indian J Dent Res.* 2009;20(4):448–52.
 20. Alavi S, Kachuie M, Sinaee N, Alobeid A, Hasan M, Al-Suleiman M, et al. Corrosion and biocompatibility of orthodontic wires. *Am J Orthod Dentofac Orthop* [Internet]. 2016;9(1):137–41. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.actbio.2016.07.008>
 21. Df W, Aj G. Alternative beta-titanium alloys. 1987;337–41.
 22. D'Antò V, Rongo R, Ametrano G, Spagnuolo G, Manzo P, Martina R, et al. Evaluation of surface roughness of orthodontic wires by means of atomic force microscopy. *Angle Orthod.* 2012;82(5).
 23. Arango-Santander S, Ramírez-Vega C. Titanio: aspectos del material para uso en ortodoncia. *Rev Nac Odontol.* 2016;12(23):63–71.

24. Alexander L, Kommi P, Arani N, Mathew A, Yashwant A, Senkutvan R. Evaluation and comparison of surface characteristics of commercially available TMA wires using scanning electron microscopy and optical profilometer. *Indian J Dent Res.* 2019;30(4).
25. Kusy RP, Whitley JQ, Gurgel JDA. Comparisons of surface roughnesses and sliding resistances of 6 titanium-based or TMA-type archwires. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2004;126(5).
26. Charles N. *SCI E : NCE Ore Metals Throt.* 1985;227(4693):1421–8.
27. Goldberg J, Burstone CJ. An Evaluation of Beta Titanium Alloys for Use in Orthodontic Appliances. *J Dent Res.* 1979;58(2):593–9.
28. Burstone CJ. Welding of TMA wire. Clinical applications. *J Clin Orthod.* 1987;21(9):609–15.
29. Donovan MT, Lin JJJ, Brantley WA, Conover JP. Weldability of beta titanium arch wires. *Am J Orthod.* 1984;85(3):207–16.
30. Wichelhaus A, Geserick M, Hibst R, Sander FG. The effect of surface treatment and clinical use on friction in NiTi orthodontic wires. *Dent Mater.* 2005;21(10):938–45.
31. Johnson E. Relative stiffness of beta titanium archwires. *Angle Orthod.* 2003;73(3):259–69.

32. 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(1):79–92.
33. Abdelaziz MAM, Ali KAM, Clinic CD, Services H. In Vitro : Influence of Zirconium Coatings on Surface Roughness of (Beta- Titanium III and Timolium Titanium) Orthodontic Archwires. 2020;15(1):16–21.
34. Balakrishnan R, Jeri S, Rekha V, Singh G, Deepak P, Nair A. Evaluation of the effect of different types of fluoride on tensile properties and surface roughness of different titanium-based archwires: An in vivo study. *J Pharm Bioallied Sci.* 2021;13(6).
35. Arreghini A, Lombardo L, Mollica F, Siciliani G. Load deflection characteristics of square and rectangular archwires. *Int Orthod.* 2016;14(1).
36. Bentahar Z, Bouakhaden N, Massoud N, Barquins M, Bouksour O, El Boussiri K. Traitement thermomécanique des alliages CuNiTi et TMA. *Int Orthod.* 2007;5(3).
37. Molina G, Palma S. Nanotecnología en Odontología: Aspectos generales y posibles aplicaciones. *Methodo Investig Apl a las Ciencias Biológicas.* 2018;3(3):59–66.
38. Alsabti N, Bourauel C, Talic N. Comparison of surface topography of low-friction and conventional TMA orthodontic arch wires using atomic force

microscopy. *J Orthod Sci.* 2021;10(1).

39. Alsabti N, Talic N. Comparison of static friction and surface topography of low friction and conventional TMA orthodontic arch wires: An in-vitro study. *Saudi Dent J* [Internet]. 2021;33(5):268–75. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.sdentj.2020.03.006>
40. Alsabti N, Bourauel C, Talic N. Comparison of force loss during sliding of low friction and conventional TMA orthodontic archwires: An in vitro study. *J Orofac Orthop.* 2020;
41. Manuel MLB. COMPARISON OF PHYSICAL CHARACTERISTICS BETWEEN STAINLESS STEEL , NICKEL TITANIUM , COBALT CHROMIUM , BETA TITANIUM ARCH WIRES TYPE OF THE MANUSCRIPT : Original article. 2021;6(3):121–5.
42. Sarul M, Kozakiewicz M, Jurczyszyn K. Surface evaluation of orthodontic wires using texture and fractal dimension analysis. *Materials (Basel).* 2021;14(13):1–13.
43. Krishnan M, Saraswathy S, Sukumaran K, Abraham KM. Effect of ion-implantation on surface characteristics of nickel titanium and titanium molybdenum alloy arch wires. *Indian J Dent Res.* 2013;24(4):411–7.
44. Wang B, Ding X, Mao Y, Liu L, Zhang X. Nanoindentation and microstructure in the shear band in a near beta titanium alloy Ti-5Al-5Mo-5V-1Cr-1Fe.

Materials (Basel). 2019;12(24):1–14.

45. Pulikkottil VJ, Chidambaram S, Bejoy PU, Femin PK, Paul P, Rishad M. Corrosion resistance of stainless steel, nickel-titanium, titanium molybdenum alloy, and ion-implanted titanium molybdenum alloy archwires in acidic fluoride-containing artificial saliva: An in vitro study. *J Pharm Bioallied Sci.* 2016;8(Suppl 1):S96–9.
46. Sherief DI, Abbas NH. The effect of food simulating liquids on the static frictional forces and corrosion activity of different types of orthodontic wires. *J World Fed Orthod.* 2017;6(4).
47. Castro SM, Ponces MJ, Lopes JD, Vasconcelos M, Pollmann MCF. Orthodontic wires and its corrosion - The specific case of stainless steel and beta-titanium. *J Dent Sci.* 2015;10(1):1–7.
48. Babu KP, Keerthi VN, Madathody D, Prasanna AL, Gopinath V, Kumar MS, et al. Evaluating the surface characteristics of stainless steel, TMA, timolium, and titanium-niobium wires: An in vivo scanning electron microscope study. *J Contemp Dent Pract.* 2016;17(5).
49. Ion R, Drob SI, Ijaz MF, Vasilescu C, Osiceanu P, Gordin DM, et al. Surface characterization, corrosion resistance and in vitro biocompatibility of a new Ti-Hf-Mo-Sn alloy. *Materials (Basel)* [Internet]. 2016;9(10). Available from: www.mdpi.com/journal/materials

50. Júnior RSS, Caldas SGFR, Martins LP, Martins RP. Effects of stress relaxation in beta-titanium orthodontic loops: Part II. *Angle Orthod.* 2016;86(3):386–90.
51. Kusy RP, Whitley JQ. Thermal and mechanical characteristics of stainless steel, titanium-molybdenum, and nickel-titanium archwires. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2007;131(2):229–37.
52. Pop SI, Dudescu M, Merie VV, Pacurar M, Bratu CD. Evaluation of the mechanical properties and surface topography of as-received, immersed and as-retrieved orthodontic archwires. *Clujul Med.* 2017;90(3):313–26.
53. Drake SR, Wayne DM, Powers JM, Asgar K, Gurgel JA, Pinzan-Vercelino CRM, et al. Surface roughness of orthodontic wires via atomic force. *J Mater Sci Mater Med.* 1998;81(3):478–83.
54. Yousif A, Abd El-Karim U. Microscopic study of surface roughness of four orthodontic arch wires. *Tanta Dent J.* 2016;13(4):199.
55. Sahu A, Bhosale V, Ghunawat D, Madanshetty P, Rathi G, Khan MYA. An in vivo randomized clinical evaluation of the surface morphology of nickel-titanium, beta-titanium, and copper-nickel-titanium. *J Contemp Dent Pract.* 2020;21(6):636–9.
56. Walker MP, Ries D, Kula K, Ellis M, Fricke B. Mechanical properties and surface characterization of beta titanium and stainless steel orthodontic wire following topical fluoride treatment. *Angle Orthod.* 2007;77(2):342–8.

57. Jung O, Becker JP, Smeets R, Gosau M, Becker G, Kahl-Nieke B, et al. Surface characteristics of esthetic nickel-titanium and beta-titanium orthodontic archwires produced by plasma electrolytic oxidation (PEO)-primary results. *Materials (Basel)*. 2019;12(9).
58. Kazek-Kęsik A, Dercz G, Kalemba I, Suchanek K, Kukharenko AI, Korotin DM, et al. Surface characterisation of Ti-15Mo alloy modified by a PEO process in various suspensions. *Mater Sci Eng C*. 2014;39(1):259–72.
59. Aloysius AP, Vijayalakshmi D, Deepika, Soundararajan NK, Manohar VN, Khan N. Comparative evaluation of frictional properties, load deflection rate and surface characteristics of different coloured TMA archwires - An invitro study. *J Clin Diagnostic Res*. 2015;9(12).
60. Verstryngge A, Van Humbeeck J, Willems G. In-vitro evaluation of the material characteristics of stainless steel and beta-titanium orthodontic wires. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 2006;130(4):460–70.

17. ANEXOS

ANEXO NO.1. Fotografías de los empaques de Arcos Evaluados en este estudio.

