

Revista de la Asociación Dental Mexicana

Volumen
Volume 44

Número
Number 6

Enero-Marzo
January-March 1999

Artículo:

Determinación de las fuerzas de expansión y de torsión que se producen al activar el quad hélix, *in vitro*

Derechos reservados, Copyright © 1999:
Asociación Dental Mexicana, AC

Otras secciones de este sitio:

- ☞ Índice de este número
- ☞ Más revistas
- ☞ Búsqueda

Others sections in this web site:

- ☞ *Contents of this number*
- ☞ *More journals*
- ☞ *Search*



Edigraphic.com

Determinación de las fuerzas de expansión y de torsión que se producen al activar el quad hélix, *in vitro*

Mtro. Fernando Luis Parés
Vidrio,* Dr. Francisco Javier
Marichi Rodríguez,** M en C
Gerardo Fernández Sánchez***

* Profesor por Oposición en la FES Zaragoza UNAM en el posgrado de Estomatología Integral del Niño y el Adolescente. Profesor Titular de Ortodoncia I en la Escuela Militar de Odontología.
** Profesor de la Especialidad de Ortodoncia en la DEPI de la Facultad de Odontología UNAM.
*** Profesor de la Facultad de Ciencias en la UNAM.

Resumen

En el presente trabajo, se determinaron las fuerzas de expansión y torsión del aparato quad hélix, cuyo objetivo fundamental fue el de elaborar tablas de fuerzas de expansión y de torsión basadas en experimentos con cuatro determinados tamaños de quad hélix, donde se reprodujeron las activaciones básicas del mismo aparato para tener un mayor conocimiento de su comportamiento y que pudiera ser de utilidad para el clínico controlar el rango de fuerzas en el que se desempeña la acción del quad hélix en la expansión maxilar. Se concluyó que cuando se modifica la longitud del puente posterior del quad hélix, hay una variación no lineal de la fuerza de expansión, como lo muestran en los resultados las tablas de fuerza de expansión. También a medida que aumenta la longitud del referido puente, la fuerza por milímetro de expansión tiende a disminuir. En cuanto a la fuerza de torsión, se encontró que no es directamente proporcional a la longitud del puente posterior, lo que nos arroja que el alambre no es completamente elástico en el movimiento de torsión. En el torque producido por la torsión, se encontró que la fuerza de torsión es aproximadamente proporcional al ángulo de giro para ángulos pequeños, no así, para ángulos de 15° en adelante. Por último, se obtuvo a partir de los procedimientos anteriores la fórmula general que da la fuerza para el quad hélix.

Palabras clave: Quad hélix, expansión, torsión, torque.

Abstract

At the present work, it determines the expansion forces and torsion of the quad-helix brace, which the fundamental goal was to elaborate tables of expansion forces and torsion based in experiments with four sizes of the quad-helix where it has been produced the basic activations of the same brace to obtain a major knowledge of its behavior and that it could be useful for the clinic control of the force rank in which it develops the action of the quad-helix in the maxillary expansion. It concluded that when the length it is changed the rear bridge of the quad-helix, there is not a lineal variation of the force expansion, as it is shown in the results of the force expansion. Also as it grows the length of the referring bridge, the strength for milimeter of expansion trends to diminish. About the torsion force, we found that it is not directly proportional to the length of the rear bridge, so that the wire is completely elastic in the torsion movement. At the torque produced by the torsion, we found that the strength of torsion is approximately proportional to the turning angle for little angles not like this, for angles of 15° or more. At last, we obtained starting from the previous procedures the general formula that gives the force for the quad-helix.

Key words: Quad-helix, expansion, torsion, torque.

Introducción

Dentro de los múltiples problemas en la ortodoncia que en relación al desarrollo de los maxilares¹⁻⁴ pueden presentarse, están las alteraciones transversales, entre las cuales podríamos mencionar:⁶⁻⁹

1. Mordidas cruzadas posteriores uni o bilaterales.
2. Colapsos maxilares.

Algunos autores afirman que las mordidas cruzadas posteriores así como los colapsos maxilares, a nivel transversal pueden originar una asimetría facial, desviación de la línea media, entrecruzamiento insuficiente, contactos oclusales prematuros, distorsión muscular y discrepancia entre el maxilar superior y la mandíbula, lo cual repercuten directamente en una asimetría facial, teniendo que el porcentaje de estos casos tanto en México como en algunos países va del 8 al 18%, estableciendo la importancia de intervenir tempranamente.^{10,11}

Los factores etiológicos que dan lugar a estas alteraciones, son generalmente clasificados en dentales y esqueléticos.¹¹⁻¹⁴

La implementación de un tratamiento oportuno a base de una expansión maxilar para la corrección tanto del colapso maxilar como de las mordidas cruzadas posteriores es de gran importancia ya que por un lado permite el restablecimiento del equilibrio bucal, que se relaciona directamente con el crecimiento normal de los maxilares y la cara, y por otro la simplificación del tratamiento.^{15,16}

Asimismo y de acuerdo a su etiología existen dos enfoques para tratar este tipo de alteraciones, las denominadas de expansión maxilar lenta para alteraciones de etiología dental y las de expansión maxilar rápida o disyunción palatina rápida para alteraciones de etiología esquelética.¹⁷⁻²¹

Entre los aparatos comúnmente usados para expansión maxilar lenta, están el quad hélix y aparatos removibles denominados placas con tornillo de expansión uni o bilaterales y con diferentes modificaciones.^{17,22}

El aparato quad hélix es una evolución a partir de un aparato de caucho sugerido originalmente por Coffin y consta fundamentalmente de un arco palatino para producir expansión y cuatro hélices o hélix, dos anteriores y dos posteriores, una en cada ángulo, de allí proviene su nombre, configurándose de forma aproximada de una W, constando de cinco segmentos denominados por su posición los interiores puentes palatinos que son dos, un puente anterior, y los exteriores se denominan ramas anteriores, los cuales están diseñados para ejercer fuerzas controladas (Figura 1).^{17,23-25}

El autor recomienda para su fabricación el uso de alambre de oro No. 4 o alambre Elgiloy de 1 mm, siendo utilizado generalmente el alambre Elgiloy debido a los costos.¹⁸

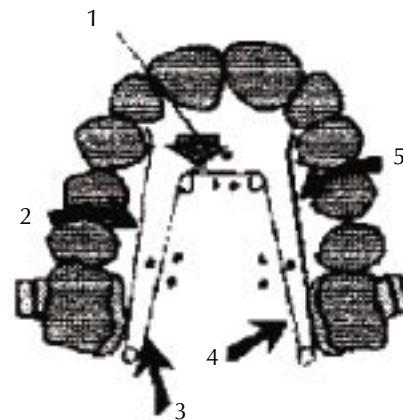


Figura 1. Componentes del aparato. 1: puente anterior, 2: brazo lateral derecho, 3: puente palatino posterior derecho, 4: puente palatino posterior izquierdo y 5: brazo lateral izquierdo. Se presentan los sitios de activación, con la porción del alicate de tres picos en el puente anterior para la expansión y en los puentes palatinos para la distorrotación.

En la composición del alambre Elgiloy cada uno de sus componentes le aporta diferentes propiedades físicas, como son elasticidad, dureza y flexibilidad.²⁶

El propósito de las hélix o hélices es aumentar el rango de fuerza y flexibilidad para la distorrotación de los molares.

La forma de activación del aparato se efectúa antes de colocarse, realizando una preactivación a nivel transversal y posteriormente se realizan activaciones con un alicate de tres picos, ya sea en el puente anterior para expansión de los segmentos laterales o en los puentes palatinos para distorrotación de los molares superiores de acuerdo a la función que se pretenda ejercer, así como una activación tal como se muestra en la figura 2 para proporcionar la torsión.¹⁸

Una vez activado el quad hélix produce cambios de expansión y se descubrió que ejerce un efecto de ensanchamiento de la sutura palatina (cambios ortopédicos), siendo más efectivos estos cambios cuando se realizan en dentición mixta.^{18,24}

Es importante mencionar que los cambios que se producen por efectos de la expansión, se definen de la siguiente manera:

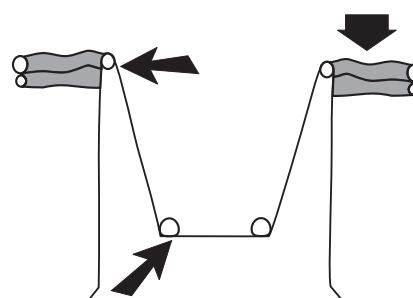


Figura 2. Quad hélix con movimiento de torsión radicular vestibular para prevenir la inclinación vestibular coronal al hacer una expansión. Las flechas indican los sitios en donde se realiza la activación.

a) Dentales, cuando sus efectos se producen a nivel dentoalveolar.

b) Ortopédicos, cuando sus efectos involucran a estructuras óseas.

El aumento ortopédico de la dimensión transversal del maxilar superior es benéfico debido a que esta expansión permite una mejor coordinación entre las arcadas superior e inferior y hace posible un tratamiento más estable y un crecimiento más equilibrado tanto dental como esquelético.²⁷⁻³⁰

Se reportan conceptos de funcionamiento, diseño, fabricación del quad hélix, al igual que conceptos como el de que puede desarrollar en su totalidad 500 gr de fuerza si se desean movimientos o ortopédicos, no mencionando los fundamentos de esta observación;¹⁸ también menciona que en la primera activación se debe expandir el aparato aproximadamente la mitad de la distancia bucopalatina del primer molar superior o segundo temporal para que sea una expansión adecuada.¹⁸

Chaconas y Caputo³¹ observaron la distribución de la fuerza ortopédica que se produce con cinco aparatos maxilares entre los cuales estaba el quad hélix, encontrando que al ser expandido 8 mm se produce una fuerza entre 400 y 500 gr, posteriormente al comprimirse 1 mm menos se concluye, que se produce alrededor de 100 gr por mm de activación pero no se menciona el rango de fuerza que se produce en cada activación, ni su fundamento científico para determinarlo; tampoco se contempla la variación de la fuerza debida al tamaño del aparato, que varía obviamente en cada paciente, tornándose por lo tanto su manejo poco exacto en la producción de una fuerza controlada, en las activaciones anteriores y posteriores del aparato, para el manejo de la expansión maxilar lenta.

El planteamiento que surge, consiste en el desconocimiento del rango de fuerza producido en cada activación, tanto lateral, como la producida por movimientos de torsión, tomando en consideración el tamaño del aparato y los distintos sitios de activación, lo que se traduce en tratamientos que no están sustentados en cálculos reales.

El objetivo es configurar una tabla de valores de fuerza de expansión y de torsión producida por el aparato quad hélix, tomando en consideración las variables, longitud de los puentes posteriores, la distancia intermolar transversal y la torsión coronolingual aplicada al aparato.

Metodología

Tipo de estudio. Experimental

Material y métodos

Se fabricaron preliminarmente 16 quad hélix cuyos tamaños oscilaban en la longitud de puente anterior entre

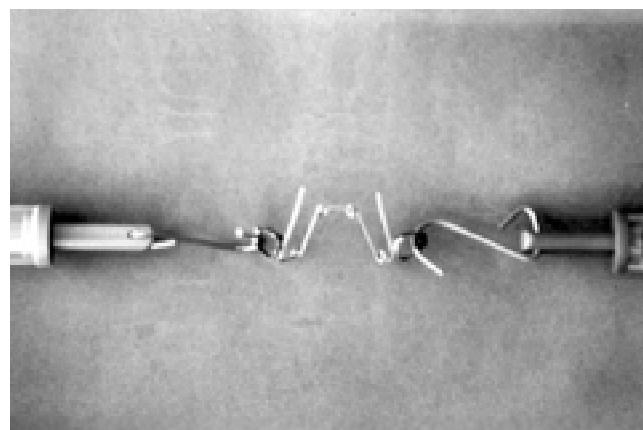


Figura 3. Quad hélix sometido a dos fuerzas de expansión producidas por dos dinamómetros.

13 y 22 mm, y longitud de puente posterior entre 13 y 32 mm, con el objeto de estimar el rango de fuerzas disponible, después del cual se sistematizó un procedimiento elaborando una hoja de recolección de datos (*Apéndice 1*) se pone de muestra la primera hoja ya que fueron 14) donde estuvieran contempladas las fuerzas de expansión (*Figura 3*), torsión y torque producido por la expansión y además se elaboraron columnas donde se incluyen datos de las distancias intermolar y los ángulos de torsión (*Cuadros del apéndice 1 y cuadros V y VI*).

Se realizó una selección de variables ya que al haber utilizado toda la gama posible de variables en cuanto a tamaños de quad hélix y diversos sitios de activación, hubieran resultado unas tablas demasiado extensas y poco prácticas para el clínico en la consulta.

Posteriormente se evaluó la conveniencia de utilizar cuatro tamaños de quad hélix tomando como referencia los tamaños diseñados por la Rocky Mountain Orthodontics (RMO), ya que son los más comunes, los cuales se elaboraron con dimensiones de longitud de puente anterior de 13 mm, y longitud de puentes posteriores de 13 mm, 18 mm, 23 mm y 28 mm respectivamente que se denominaron pequeño, chico, regular y grande, señalados en las hojas de recolección de datos (*Apéndice 1*), se pone como ejemplo la primera hoja debido a que son 14) con los números 9, 10, 11 y 12, esto con el objeto que cubrieran el rango de tamaños de las arcadas de los pacientes, considerando estos cuatro tamaños estándar. En dichos quad hélix se determinó fijar algunas variables como la longitud del puente anterior en 13 mm, ya que como se comentó anteriormente se tomó como parámetro la referencia establecida por RMO, así como el sitio de activación el cual fuera a la parte media del puente anterior (*Figura 4*). Para cada quad hélix, se hicieron cinco activaciones, que consistieron en un pinzamiento con el alicate de tres picos

Apéndice 1. Hoja de recolección de datos (Ejemplo de datos obtenidos de QH9)

Quad hélix No. 9.C.0

Fecha: 15 mayo 1996

Long. puentes Ant, 13 mm Post, 18 mm

Activación: 0

F (gr)	X (mm)				F (gr) calc.	↔
0	32.0	31.5	31.6	31.7	32	-1.7
100	31.0	30.5	30.6	30.4	31.1	106
200	30.7	30.1	30.0	29.5	30.1	198
300	30.2	29.9	29.5	29.4	29.2	293
400	30	29	29.1	29.0	28.5	404
500						29.1

$$F = 35114.6 - 2146.73 X + 32.7812 X^2$$

Apéndice 1 (8/14)

Quad hélix No 9.C.1

Fecha: 15 mayo 1996

Long. puentes Ant, 13 mm Post, 18 mm.

Activación: 0.44 mm

F (gr)	X (mm)				F (gr) calc.	↔
0	34.7	34.2	34.3	34.5	34.5	8.7
100	34	33.4	33.5	34	33.5	84.6
200	32.6	32	32.5	33.2	32.8	203.1
300	31.7	31	31.5	32	32	309.5
400	30.5	30.4	30.6	31.3	31	394
500						30.8

$$F = 3161.48 - 74.4661 X - 0.499525 X^2$$

Quad hélix No. 9.C.2

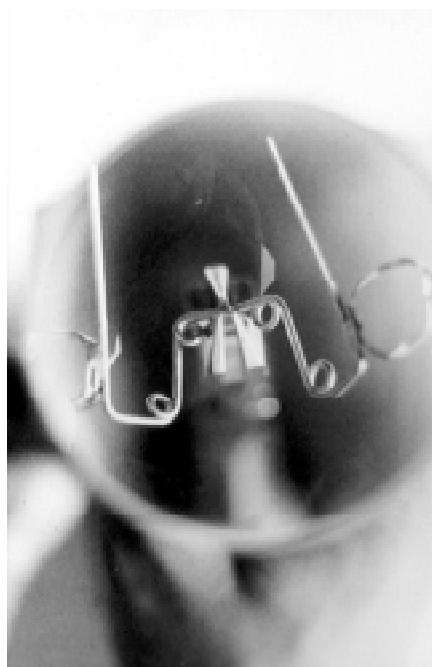
Fecha: 15 mayo 1996

Long. puentes Ant, 13 mm Post, 18 mm.

Activación: 1mm

F (gr)	X (mm)				F (gr) calc.	↔
0	36.2	35.5	37	36	36.6	- 6.7
100	35.5	34.8	36	35	35.2	119
200	34.5	34.2	35.2	34.8	- 35	193
300	34	33.2	34	34	34.2	289
400	33	33	32.7	33	33	405
500						32.9

$$F = 1966.52 + 19.3872 X - 2.03159 X^2$$

**Figura 4.**

Activación en el puente anterior realizada por un alicate de tres picos.

como se observa en la *figura 4* con un rango de profundidad las activaciones de .44 mm a 2.2 mm medidas con una lupa con papel milimétrico sin cambiar de quad hélix, con el objeto de no cambiar las condiciones originales de construcción y que no hubiera variabilidad en las dimensiones del mismo.

Variables

Longitud del puente posterior

Profundidad de la activación en mm

Ángulo de torsión coronolingual aplicada al aparato

Expansión del aparato (distancia intermolar)

Fuerza de expansión que produce al aparato.

El torque producido por la fuerza de expansión

El torque producido por la fuerza de torsión coronolingual aplicada al aparato.

Identificación de las variables**Independientes**

Longitud del puente posterior

Profundidad de la activación en mm

El ángulo de torsión corono lingual aplicada al aparato
El ángulo formado entre el puente palatino y el puente
anterior (implica un aumento o una disminución de la
distancia intermolar).

Dependientes

La fuerza de expansión o compresión lateral.

El torque producido por la fuerza de expansión.

El torque producido por la torsión corono lingual.

Criterios de inclusión

Los aparatos quad hélix se elaboraron con alambre Elgiloy azul de la casa Rocky Mountain con un calibre de .038" o .97 mm de diámetro.

Los aparatos quad hélix fueron diseñados conforme al diagrama de la figura 1.

Todos los aparatos fueron elaborados por el autor de la investigación.

El diámetro de las hélix fue de 2.5 mm.

Las activaciones del aparato en el puente palatino anterior se realizaron a la mitad para estandarizar resultados.

La longitud del puente anterior fue de 13 mm.

El tamaño de los puentes posteriores fue de 13, 18, 23 y 28 mm.

Criterios de exclusión

Todos los que no se ajusten a los criterios de inclusión mencionados anteriormente.

Como se mencionó anteriormente para la recolección de la información, se diseñó una hoja que contuviera en una columna la fuerza aplicada del quad hélix expresada en gramos y cinco columnas adicionales, en cada una de las cuales se expresó la distancia intermolar para cada fuerza aplicada, esto con el objeto de tener una población muestral mínima y por último una columna adicional en donde se expresó el promedio aritmético de las distancias así medidas (Apéndice 1).

Con el tabla de valores de fuerza aplicada contra distancia de compresión promedio, se procedió a obtener una ecuación cuadrática en la distancia intermolar (ésta se midió de la cara palatina de la soldadura de la banda del molar a la cara palatina contraria), dicha ecuación es una corrección a la Ley de Hooke, la cual estipula que la deformación es directamente proporcional a la elongación o compresión en el régimen lineal, esta forma cuadrática del tipo $F = ax^2 + bx + c$ se puede aplicar a todos los quad hélix, variando solamente los coeficientes de x , que sería la variable compresión o la distancia intermolar.

El objetivo de encontrar una fórmula única que exprese la fuerza para cada compresión, activación y longitud del puente posterior, se logró mediante la siguiente metodología.

Se construyó una tabla de fuerzas en función de x , para cada activación, para cada uno de los cuatro quad

hélix, que diferían en la longitud del puente posterior, como a continuación se muestra.

Si $L_p = L_{p1}$ (longitud del puente posterior), entonces:

$$\begin{aligned} F(a_0, x) &= a_0^0 + a_1^0 x + a_2^0 x^2 \\ F(a_1, x) &= a_0^I + a_1^I x + a_2^I x^2 \\ F(a_2, x) &= a_0^{II} + a_1^{II} x + a_2^{II} x^2 \\ F(a_3, x) &= a_0^{III} + a_1^{III} x + a_2^{III} x^2 \\ F(a_4, x) &= a_0^{IV} + a_1^{IV} x + a_2^{IV} x^2 \end{aligned}$$

$F(a_5, x) = a_0^V + a_1^V x + a_2^V x^2$, en donde $F(a_0, x)$ es la fuerza para un valor x de la distancia intermolar y a_0 es la activación; a_0^0, a_1^0 y a_2^0 son los coeficientes del polinomio cuadrático relacionado con este valor de activación, los demás valores de activación son: a_1, a_2, a_3, a_4, a_5 .

Considerando los valores de activación como variable independiente y los coeficientes a_0, a_1, a_2 , como variables dependientes en donde $i = 0, I, II, III, IV$ y V , se construyeron tres polinomios que fueron los coeficientes en la nueva ecuación que expresa la fuerza en función de la activación arbitraria y de la elongación como sigue:

$$\begin{aligned} \text{Si } L_p = L_{p1} \\ F(L_{p1}, ax) &= P_0^I(a) + P_1^I(a)x + P_2^I(a)x^2 \end{aligned}$$

Por ejemplo, para un valor de activación igual a: $a_4, P_0^I(a_4) = a_0^{IV}, P_1^I(a_4) = a_1^{IV}, P_2^I(a_4) = a_2^{IV}$ y entonces se reproduce la expresión para $F(a_4, x)$.

Después de esta etapa se construyó una tabla de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} F(L_{p1}, a, x) &= P_0^I(a) + P_1^I(a)x + P_2^I(a)x^2 \\ F(L_{p2}, a, x) &= P_0^{II}(a) + P_1^{II}(a)x + P_2^{II}(a)x^2 \\ F(L_{p3}, a, x) &= P_0^{III}(a) + P_1^{III}(a)x + P_2^{III}(a)x^2 \\ F(L_{p4}, a, x) &= P_0^{IV}(a) + P_1^{IV}(a)x + P_2^{IV}(a)x^2 \end{aligned}$$

Aquí se puede ver que la fuerza tiene la misma fórmula cuadrática general, sólo que el término libre, el que multiplica a x , y el que multiplica a x^2 son polinomios de quinto grado en la activación, puesto que cada polinomio se ajustó con seis valores de activación: a_0, a_1, \dots, a_5 .

Ahora bien, cada coeficiente que multiplica a a^n , teniendo que $n = 0, 1, 2, 3, 4$ y 5 en el polinomio anterior, se sustituyó por un polinomio de grado tres, en L_p (longitud del puente posterior), el grado del polinomio es tres, porque se usaron cuatro quad hélix, de modo que cuando se emplean valores de $L_p = 13, 18, 23$ y 28 mm, se recuperan las fórmulas de los quad hélix 9, 10, 11 y 12 (Apéndice 1).

Obteniéndose de esta forma, la fórmula general que da la fuerza (Apéndice 2).

Para realizar los cálculos antes descritos se utilizó el programa denominado mathematica³⁶ y se hizo un ajuste por mínimos cuadrados.

Apéndice 2. Fórmula general para la fuerza de expansión, como función de la longitud del puente posterior (Lp), activación (a) y la distancia intermolar (x).

$$\begin{aligned}
 F[Lp, a, x] = & -937460. + 148839. Lp - 7333.11 Lp^2 + 114.782 Lp^3 + \\
 & a^3 (4.66626 \cdot 10^7 - 7.02409 \cdot 10^6 Lp + 333087. Lp^2 - 5066.22 Lp^3) + \\
 & a (1.18232 \cdot 10^7 - 1.79308 \cdot 10^6 Lp + 85647.5 Lp^2 - 1311.12 Lp^3) + \\
 & a^5 (4.4234 \cdot 10^6 - 664394. Lp + 31399.9 Lp^2 - 475.852 Lp^3) + \\
 & a^4 (-2.43169 \cdot 10^7 + 3.65781 \cdot 10^6 Lp - 173251. Lp^2 + 2631.74 Lp^3) + \\
 & a^2 (-3.74221 \cdot 10^7 + 5.64012 \cdot 10^6 Lp - 267840. Lp^2 + 4079.43 Lp^3) + \\
 & (57976.2 - 9206.03 Lp + 453.761 Lp^2 - 7.10441 Lp^3) + \\
 & a^2 (2.27082 \cdot 10^6 - 341810. Lp + 16233.7 Lp^2 - 247.366 Lp^3) + \\
 & a^4 (1.46062 \cdot 10^6 - 219262. Lp + 10382.1 Lp^2 - 157.739 Lp^3) + \\
 & a^5 (-266115. + 39890. Lp - 1885.13 Lp^2 + 28.5834 Lp^3) + \\
 & a (-728580. + 110443. Lp - 5277.47 Lp^2 + 80.8345 Lp^3) + \\
 & a^3 (-2.80946 \cdot 10^6 + 422140. Lp - 20013.4 Lp^2 + 304.465 Lp^3) x + \\
 & (-898.075 + 142.564 Lp - 7.02823 Lp^2 + 0.110057 Lp^3) + \\
 & a^3 (42262.2 - 6336.73 Lp + 300.254 Lp^2 - 4.56774 Lp^3) + \\
 & a (11207.2 - 1697.59 Lp + 81.1249 Lp^2 - 1.24296 Lp^3) + \\
 & a^5 (3996.46 - 597.611 Lp + 28.2277 Lp^2 - 0.428084 Lp^3) + \\
 & a^4 (-21915. + 3281.96 Lp - 155.3 Lp^2 + 2.35945 Lp^3) + \\
 & a^2 (-34422.1 + 5173.05 Lp - 245.625 Lp^2 + 3.74355 Lp^3) x^2
 \end{aligned}$$

Para calcular la fuerza de torsión, debido a la expansión del aparato, se multiplicó la fuerza ya obtenida por la distancia medida de la corona clínica del molar superior al centro de resistencia del mismo, el cual se tomó de los promedios establecidos en el texto de Berkovitz.³⁷ Esta distancia lógicamente varía con cada paciente debido a la anatomía particular de cada uno de ellos.

Se sabe que existe otro torque producido por la torsión que se aplica sobre el puente posterior o palatino del aparato, apoyándose en la corona clínica del molar. Este torque deberá sumarse vectorialmente con el torque producido por la fuerza de expansión descrita anteriormente.

La metodología usada para evaluar este último torque fue la siguiente:

1. Se soldaron alambres de longitud similar a los puentes posteriores de los cuatro quad hélix que al final se había establecido como parámetro, los cuales son de 13, 18, 23 y 28 mm a dos barras rectangulares perpendicularmente en forma de H (*Figura 5*), una de las cuales se fijó a un soporte y la otra se colocó horizontalmente en la posición 0° de un transportador circular, la cual se hizo girar mediante dos dinamómetros atados a los extremos de la barra a una distancia de una pulgada (2.54 cm) al centro de dicha barra, midiéndose el ángulo obtenido al aplicar una fuerza determinada en gramos,³⁸ esto con el objeto de que el ángulo que nosotros reproducimos experimentalmente, coincida con el ángulo medido al efectuar una torsión en el quad hélix colocado en el paciente (*Figura 6*).

Resultados

Con una tabla de valores de fuerza aplicada contra distancia de compresión promedio, se obtuvo una ecuación cuadrática

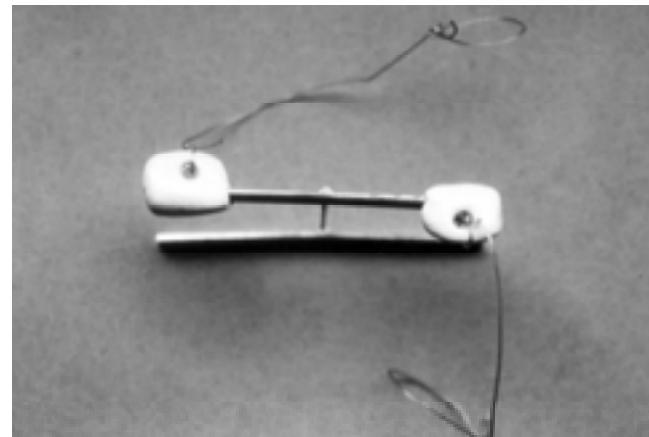


Figura 5. Se observa una varilla de alambre blue algiloy soldado a dos barras de acero transversales para producir el efecto de la torsión sobre el alambre. Vista en perspectiva.

en la distancia intermolar, que se pueda aplicar a todos los quad hélix, variando los coeficientes de x, que sería la variable compresión o la distancia intermolar, esto, con el objeto de encontrar una fórmula única que expresara la fuerza para cada compresión, activación y longitud de puente posterior (ya que la longitud del puente anterior estaba previamente determinada) de cada quad hélix.

Se obtuvo posteriormente una tabla de fuerzas en función de x, para cada activación, para cada uno de los cuatro quad hélix, que diferían en la longitud del puente posterior, como sigue:

$$F(a_0, x) = a_0^0 x + a_1^0 x + a_2^0 x^2 \quad (\text{Ver apéndice 1 en hojas de recolección de datos la fórmula al pie del cuadro como ejemplo}).$$

Tomando en consideración los valores de activación de cada quad hélix como variable independiente, y los

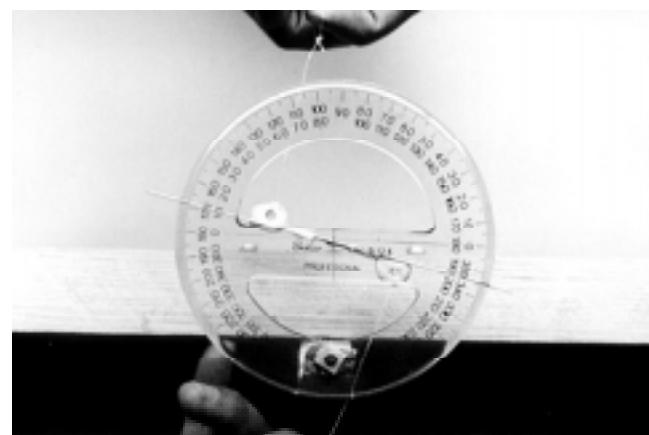


Figura 6. En esta figura se observa el ángulo de giro producido por el par de fuerzas aplicado a un segmento de alambre blue algiloy. Vista frontal.

Cuadro I. Fuerza de expansión

	a=0	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5	1.75	2.0	2.25	2.5
X=25	496.21	859.46	855.17	819.62	941.69	1262.3	1674.1	1920.7	1596.3		
25.5	418	730.38	759.01	746.33	854.46	1139.4	1525.6	1779.7	1485.3		
26	344.43	610.39	667.82	675.41	770.72	1022.6	1383.7	1642.9	1377.5		
26.5	275.5	499.49	581.6	606.85	690.47	911.86	1248.6	1510.3	1272.9		
27	211.21	397.68	500.36	540.66	613.7	807.16	1120.1	1382.1	1171.5		
27.5	151.56	304.96	424.08	476.83	540.42	708.52	998.41	1258.1	1073.4		
28	96.546	221.33	352.78	415.36	470.62	615.95	883.38	1138.3	978.45		
28.5	46.174	146.79	286.45	356.27	404.31	529.44	775.05	1022.9	886.72		
29	0.44233	81.333	225.1	299.53	341.49	449.12	673.42	911.65	798.21		
29.5		24.97	168.71	245.17	282.15	374.61	578.5	804.7	712.9		
30			117.3	193.16	226.3	306.29	490.28	702.01	630.82		
30.5				70.858	143.53	173.94	244.04	408.77	603.59	551.94	
31					29.391	96.253	125.06	187.84	333.96	509.42	476.27
31.5						51.345	79.666	137.71	265.85	419.52	403.82
32						8.8023	37.76	93.646	204.45	333.88	334.58
32.5							55.642	149.74	252.51	268.56	11.402
33							23.702	101.75	175.39	205.75	138.6
33.5								60.454	102.54	146.15	282.81 702.73
34								25.864	33.954	89.758	444.04 1572.1
34.5										36.583	622.28 2512.9
35											817.54 3525.2

a = activación en mm

L = longitud del puente anterior

Lp = longitud del puente posterior

x = distancia intermolar

A partir de la segunda columna se muestra la fuerza de expansión correspondiente a cada valor de activación, relacionando la primera columna de la izquierda en donde x = distancia intermolar, esto es que por ej: tenemos una activación de 1 mm en donde la distancia intermolar es de 30 mm, la fuerza que se producirá será de 226.3 gr (igual para cuadros II, III y IV).

coeficientes a_0 , a_1 , a_2 , como variables dependientes, en donde $i = 0, I, II, III, IV$ y V .

Se obtuvieron los polinomios³⁶ que fueron los coeficientes en una nueva ecuación que expresara la fuerza en función de la activación arbitraria y de la elongación, y que a continuación se expresa de la siguiente manera:

$$F(L_{p1}, a, x) = P_0^I(a) + P_1^I(a)x + P_2^I(a)x^2 \quad (\text{Cuadro I}).$$

Posteriormente, se obtuvo una tabla para cada uno de los quad hélix, en donde se pudo observar que la fuerza tiene la misma fórmula cuadrática general, sólo que el término libre, el que multiplica a x, y el que multiplica a x^2 , fueron polinomios de quinto grado en la activación, debido a que cada uno de estos polinomios se ajustó con seis valores de activación partiendo de a_0 (reposo) hasta a_5 .³⁶

Como último paso, se obtuvo a partir de los procedimientos anteriores la fórmula general que da la fuerza para el quad hélix (*Apéndice 2*).

Por otra parte, se obtuvo la fuerza de torsión, multiplicando la fuerza obtenida por la distancia medida de la corona clínica del primer molar superior, al centro de resistencia del mismo, el cual como se mencionó anteriormente en la metodología, se tomó de los promedios

establecidos por Berkovitz.³⁷ Es preciso comentar que la distancia varía con cada paciente debido a la particular anatomía de cada uno de ellos.

El torque producido por la torsión que se aplica sobre el puente posterior, debe sumarse vectorialmente con el torque producido por la fuerza de expansión.

Los resultados que se obtuvieron se plasmaron en cuadros como los que a continuación se presentan, teniendo como orden, primero los cuadros de fuerza de expansión (*Cuadros I, II, III y IV*), después los cuadros de torque producido por la torsión (*Cuadros V, VI, VII, VIII, IX y X*).

Al final se agrega la fórmula general del quad hélix para la expansión como *apéndice 2*.

Discusión

En la obtención de los datos, se prefirió utilizar un dinamómetro para medir las fuerzas aplicadas, debido a que la resolución del mismo es con una precisión de hasta 10 gr, con respecto a otros estudios.³¹

Las fórmulas que expresan las fuerzas para cada activación y longitud del puente posterior, reproducen los valores obtenidos experimentalmente con una diferen-

Cuadro II. Fuerza de expansión.

L = 13 mm Lp = 18 mm

	a = 0	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5	1.75	2.0	2.25	2.5
X = 25											
25.5	706.62	858.31	1198.5	916.6	565.36	832.44	1884.7	2712.6	474.96		
26	559.32	789.36	1100.5	868.9	578.54	825.34	1751.5	2479.9	547.55		
26.5	428.42	721.04	1004.7	820.18	586.52	814.24	1622.9	2258.5	610.49		
27	313.9	653.35	911.13	770.45	589.31	799.16	1498.8	2048.5	663.76		
27.5	215.78	586.31	819.89	719.71	586.92	780.09	1379.3	1850.1	707.36		
28	134.05	519.9	730.93	667.94	579.33	757.04	1264.2	1662.8	741.31		
28.5	68.703	454.12	644.25	615.17	566.55	730.08	1153.7	1487.1	765.59		
29	19.751	388.99	559.85	561.37	548.59	698.97	1047.7	1322.7	780.2		
29.5		324.48	477.73	506.56	525.43	663.95	946.15	1169.7	785.16		
30		260.62	397.9	450.74	497.08	624.95	849.17	1028.1	780.45		
30.5		197.39	320.34	393.9	463.55	581.96	756.7	897.93	766.07		
31		134.79	245.06	336.04	424.82	534.98	668.75	779.14	742.04	328.41	
31.5		72.834	172.06	277.17	380.90	484.02	585.32	671.74	708.34	628.38	
32		11.511	101.34	217.28	331.79	429.06	506.41	575.74	664.98	819.49	
32.5			32.904	156.38	277.50	370.12	432.02	491.14	611.95	901.72	
33				94.456	218.01	307.2	362.14	417.93	549.26	875.09	
33.5				31.520	153.33	240.28	296.78	356.12	476.91	739.58	
34					83.462	169.38	235.95	305.7	394.89	495.2	
34.5					8.404	94.495	179.62	266.68	303.22	141.95	
35						15.62	127.82	239.06	201.87		
35.5							80.537	222.83	90.868		
36							37.77	218			
36.5								224.56			
37								242.52			
37.5								271.87			
38											
38.5											
39											
39.5											
40											

a = activación en mm

L = longitud del puente anterior

Lp = longitud del puente posterior

x = distancia intermolar

cia máxima de 10 gr en la mayoría de los casos, sin embargo, se espera que para algunos de los valores interpolados la diferencia sea algo mayor, debido a que en el ajuste de la curva se toman como base los puntos experimentales.

El presente trabajo no invalida las conclusiones obtenidas por los autores Chaconas y Caputo,³¹ los cuales mostraron en su estudio una comparación de diversos aparatos de expansión maxilar, entre los cuales estaba el quad hélix, que la fuerza producida por éste al expanderlo inicialmente 8 mm y posteriormente comprimirlo a intervalos de 1 mm para simular una activación, producía aproximadamente una fuerza de 50 gr por cada milímetro de activación y en total de 400 a 500 gr.

Los resultados obtenidos muestran que la fuerza producida por cada milímetro de expansión en cada una de

las activaciones varía de un rango de 88 a 130 gr por milímetro de expansión, además de que al variar la longitud del puente posterior, varía el rango de fuerzas producido por cada aparato, lo cual fue notable en todos los casos, y esto puede ejemplificarse con los resultados del QH 9.

El presente trabajo extiende el análisis a otros valores de las variables que por su interdependencia muestran un comportamiento ligeramente no lineal, ya que se realizaron gráficas de QH 10-0, QH 11-0 y QH 12-0, en donde se observó que inicialmente la gráfica es más bien curva y se va haciendo más recta a medida que se aumenta la activación hasta llegar a ser prácticamente una recta como se pudo ver en las gráficas QH 10-2, QH 11-2 y QH 12-2, a partir de allí las gráficas vuelven a perder su forma de recta de modo que sólo en un rango de valores de activación puede considerarse válida la aproximación lineal.³⁸

Cuadro III. Fuerza de expansión.

L = 13 mm Lp = 23 mm

	a = 0	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5	1.75	2.0	2.25	2.5
x = 24	436.26		795.56	1438.4	1627.1	1709.7	1995.5	2108.9	344.24		
24.5	402.26		758.61	1370.5	1558.5	1647.9	1925.9	2037.6	381.11		
25	371.28		722.09	1303.9	1491.1	1586.7	1857.1	1967.1	415.65		
25.5	341.31		686.1	1238.6	1424.8	1526.1	1788.8	1897.5	447.85		
26	312.35		650.33	1174.6	1359.6	1466.1	1721.4	1828.8	477.72		
26.5	284.41		615.1	1111.9	1295.4	1406.7	1654.7	1760.9	505.25		
27	257.48		580.3	1050.5	1232.4	1348.1	1588.7	1693.9	530.44		
27.5	231.57		545.93	990.41	1170.4	1289.8	1523.4	1627.8	553.31		
28	206.67		511.98	931.61	1109.5	1232.3	1458.8	1562.5	573.83		
28.5	182.78		478.47	874.11	1049.7	1175.3	1394.9	1498.1	592.02		
29	159.9		445.38	817.91	990.95	1119.1	1331.8	1434.6	607.88		
29.5	138.04		412.72	763.01	933.31	1063.2	1269.4	1371.9	621.4		
30	117.19		380.5	709.42	876.76	1008.1	1207.7	1310.1	632.59		
30.5	97.357		348.7	657.12	821.3	953.6	1146.7	1249.2	641.44		
31	78.536		317.33	606.12	766.92	899.68	1086.4	1189.2	647.96		
31.5	60.728		286.39	556.42	713.63	846.37	1026.9	1130.1	652.14		
32	43.933		255.88	508.02	661.42	793.67	968.02	1071.7	653.99		
32.5	28.152		225.8	460.92	610.3	741.57	909.89	1014.2	653.5		
33	13.384		196.15	415.12	560.27	690.08	852.49	957.65	650.68		
33.5			166.92	370.62	511.32	639.2	795.8	901.94	645.52		
34			138.13	327.42	463.46	588.92	739.83	847.11	638.03		
34.5			109.77	285.52	416.68	539.24	684.58	793.14	628.2		
35			81.832	244.92	370.99	490.18	630.04	740.04	616.04		
35.5			54.326	205.62	326.39	441.72	576.22	687.82	601.54		
36			27.25	167.62	282.87	393.87	523.12	636.46	584.71		
36.5		0.60274		130.92	290.44	346.62	470.73	585.97	565.34		
37				95.52	199.1	299.98	419.06	536.35	544.04		
37.5				61.42	158.84	253.94	368.11	487.6	520.2		
38				28.619	119.66	208.51	317.87	439.72	494.03		
38.5					81.578	163.69	268.35	392.7	465.52		
39					44.577	119.47	219.55	346.56	434.68		
39.5					8.6629	75.864	171.46	301.29	401.5		
40						32.86	124.09	256.88	365.99		
40.5							77.441	213.34	328.14		
41							31.506	170.68	287.96		
41.5								128.88	245.44		
42								87.951	200.59		
42.5								47.891	153.41		
43								8.7009	103.88		
43.5									52.027		

a = activación en mm

L = longitud del puente anterior

Lp = longitud del puente posterior

x = distancia intermolar

Aun dentro de la aproximación lineal, la constante elástica (medida por la pendiente de la gráfica F vs X) tiene valores diferentes para cada quad hélix, esto significa simplemente que la «dureza» de cada aparato varía según los parámetros de su construcción y en este trabajo se intenta establecer en forma global las variaciones en la fuerza de expansión en función de estas variables, mediante la confección de un cuadro, el cual muestra que los valores extrapolados de fuerza o torque pueden

ser relativamente altos, este fenómeno es común en cualquier extrapolación y solo indica una tendencia. Como se sabe, cuando se rebasan los límites elásticos la relación entre el esfuerzo y la elongación deja de ser lineal.³⁸

En el tratamiento estadístico de los datos se tomó en cuenta el promedio aritmético de los datos debido a que cada quad hélix no producía dispersión en los valores de la fuerza salvo la muy pequeña debida a la inelasticidad ocasionada por el movimiento de

Cuadro IV. Fuerza de expansión.

L = 13 mm Lp = 28 mm

	a = 0	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5	1.75	2.0	2.25	2.5
x = 23	316.47	519.22	788.13	846.98	1034.3	1823.1	3545.86	120.01	8773.6	9770.0	
23.5	306.21		510.69	769.74	825.28	1005.7	1768.8	3437.5	5934.2	8516.4	9511.6
24	295.73		501.85	751.34	803.73	977.28	1715.3	3330.8	5751.2	8263.1	9256.7
24.5	285.03		492.71	732.93	782.32	949.21	1662.5	3225.7	5571.2	8013.7	9005.1
25	274.11		483.26	714.53	761.06	921.43	1610.4	3122.3	5394.01	7768.2	8756.9
25.5	262.97		473.51	696.11	739.94	893.96	1559.1	3020.5	5219.7	7526.7	8512.2
26	251.62		463.46	677.7	718.97	866.78	1508.5	2920.4	5048.3	7289.01	8270.8
26.5	240.04		453.1	659.28	698.14	839.91	1458.7	2821.9	4879.8	7055.3	8032.9
27	228.24		442.44	640.86	677.46	813.34	1409.5	2725.1	4714.2	6825.4	7798.4
27.5	216.21		431.47	622.44	656.92	787.06	1361.2	2629.7	4551.5	6599.5	7567.2
28	203.97		420.2	604.01	636.53	761.09	1313.5	2536.1	4391.7	6377.5	7339.5
28.5	191.51		408.63	585.57	616.28	735.42	1266.6	2444.1	4234.7	6159.4	7115.2
29	178.83		396.75	567.14	596.18	710.05	1220.4	2353.8	4080.7	5945.3	6894.3
29.5	165.92		384.57	548.7	576.22	684.98	1175.1	2265.01	3929.5	5735.01	6676.8
30	152.81		372.08	530.25	556.41	660.21	1130.7	2178.01	3781.3	5528.6	6462.7
30.5	139.46		359.29	511.81	536.74	635.73	1086.3	2092.5	3635.9	5326.2	6252.0
31	125.9		346.2	493.36	517.21	611.56	1043.1	2008.7	3493.4	5127.7	6044.7
31.5	112.12		332.8	474.9	497.83	587.69	1000.5	1926.5	3353.9	4933.01	5840.9
32	98.111		319.1	456.44	478.6	564.13	958.78	1846.01	3217.2	4742.01	5640.4
32.5	83.887		305.1	437.98	459.51	540.86	917.75	1767.1	3083.4	4555.5	5443.3
33	69.442		290.79	419.52	440.57	517.89	877.89	1689.8	2952.5	4372.7	5249.7
33.5	54.777		276.17	401.05	421.77	495.22	837.89	1614.1	2824.4	4193.7	5059.4
34	39.891		261.26	382.57	403.11	472.85	799.07	1540.1	2699.3	4018.6	4872.6
34.5	24.785		246.03	364.1	384.6	450.78	760.98	1467.8	2577.1	3847.5	4689.2
35	9.4589		230.51	345.62	366.24	429.02	723.62	1397.01	2457.7	3680.2	4509.1
35.5		214.68	327.13	348.02	407.55	687.01	1327.9	2341.3	3516.9	4332.5	
36		198.55	308.65	329.94	386.38	651.12	1260.4	2227.7	3357.5	4159.3	
36.5		182.11	290.16	312.01	365.52	615.97	1194.6	2117.1	3202.01	3989.5	
37		165.37	271.66	294.22	344.95	581.56	1130.4	2009.3	3050.4	3823.1	
37.5		148.32	253.16	276.58	324.69	547.88	1067.8	1904.4	2902.7	3660.1	
38		130.97	234.66	259.09	304.72	514.94	1006.9	1802.4	2759.01	3500.5	
38.5		113.32	216.16	241.73	285.06	482.73	947.59	1703.3	2619.1	3344.3	
39		95.362	197.65	224.53	265.69	451.26	889.92	1607.1	2483.2	3191.6	
39.5		77.101	179.14	207.47	246.63	420.53	833.89	1513.8	2351.2	3042.2	
40		58.536	160.62	190.55	227.87	390.52	779.49	1423.4	2223.01	2896.2	
40.5		39.667	142.1	173.78	209.4	361.26	726.72	1335.8	2098.8	2753.7	
41		20.494	123.57	157.15	191.24	332.73	675.59	1251.2	1978.5	2614.6	
41.5		1.0171	105.05	140.67	173.38	304.93	626.1	1169.4	1862.2	2478.8	
42			86.517	124.33	155.82	277.88	578.24	1090.6	1749.7	2346.5	
42.5			67.982	108.14	138.56	251.55	532.01	1014.6	1641.1	2217.6	
43			49.444	92.088		121.6	225.96	487.41	941.55	1536.5	2092.0
43.5			30.902	76.185		104.94	201.11	444.45	871.37	1435.8	1969.9
44			12.356	60.426		88.577	176.99	403.13	804.08	1338.9	1851.2
44.5					44.813	72.517	153.61	363.44	739.67	1246.0	1735.9
45					29.344	56.758	130.96	325.38	678.17	1157.0	1624.0
45.5					14.02	41.299	109.05	288.96	619.55	1071.9	1515.6
46						26.14	87.877	254.17	563.82	990.77	1410.5
46.5						11.282	67.436	221.01	510.99	913.51	1308.8
47							47.731	189.49	461.05	840.16	1210.5
47.5							28.761	159.61	414.0	770.72	1115.7
48							10.527	131.35	369.84	705.2	1024.2
48.5								104.74	328.57	643.58	936.19
49								79.752	290.2	585.88	851.55
49.5								56.402	254.71	532.09	770.32
50								34.686	222.12	482.21	692.5
50.5								14.605	192.42	436.24	618.08
51									165.61	394.19	547.07
51.5									141.7	356.05	479.47

Cuadro IV. (continuación)

					L = 13 mm	Lp = 28 mm					
	a = 0	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5	1.75	2.0	2.25	2.5
52									120.67	321.81	415.27
52.5									102.54	291.49	354.48
53									87.295	265.09	297.1
53.5									74.945	242.59	243.12
54									65.486	224.01	192.56
54.5									58.918	209.34	145.39
55									55.243	198.58	101.64
55.5									54.459	191.73	61.288
56									56.566	188.79	24.345
56.5									61.566	189.77	
57									69.457	194.65	

a = activación en mm

L = longitud del puente anterior

Lp = longitud del puente posterior

x = distancia intermolar

Cuadro V. Torsión.

Brazo de palanca =	r(cm)					r = 2.54 cm	
	Lp = 13 mm					Torsión	
F (r = 2.54 cm)	θ	θ	θ	θ	θ	<θ>	F (r = 1 cm)
0	0	0	0	0	0	0	0
50	2	2	3	2.5	2.5	2.4	127
100	5	5	5.5	5.5	5.5	5.3	254
150	9	9	9	9	9	9	381
200	12	12	12	11	12	11.8	508
250	15.5	15.5	15	16	15.5	15.5	635

$$F(\theta) = (9.37558 + 59.0962 \theta - 0.555256 \theta^2) \times 0.8$$

r (cm)

Brazo de palanca	= r (cm)					r = 2.54 cm	
	Lp = 18 mm					Torsión	
F (r = 2.54 cm)	θ	θ	θ	θ	θ	<θ>	F (r = 1 cm)
0	0	0	0	0	0	0	0
50	2.5	3	3	3	3	2.9	127
100	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	254
150	11.5	11	11	11	11	11	381
200	14	14	15	14	15	14.4	508
250	18	18	18	18	18.5	18.1	635

$$F(\theta) = (13.012 + 45.7776 \theta - 0.166577 \theta^2) \times 0.8$$

r (cm)

Brazo de palanca = r(cm)	Lp = 23 mm					r = 2.54 cm	
						Torsión	
F (r = 2.54 cm)	θ	θ	θ	θ	θ	<θ>	F (r = 1 cm)
0	0	0	0	0	0	0	0
50	3.5	5	4	4	4	4	127
100	9	9	10	9	9.5	9.3	254
150	14	15	15	15	15	14.8	381
200	20	20	20	20	20	20	508
250	25	25	25	25	25	25	635

$$F(\theta) = (11.2149 + 33.3582 \theta - 0.0919195 \theta^2) \times 0.8$$

r (cm)

Lp = longitud del puente posterior

Cuadro VI. Torsión.

Brazo de palanca = r (cm)	Lp = 28 mm					r = 2.54 cm	
						Torsión	
F (r = 2.54 cm)	θ	θ	θ	θ	θ	<θ>	F (r = 1 cm)
0	0	0	0	0	0	0	0
50	3.5	3.5	4	4	4	3.8	127
100	8	9	10	10	10	9.4	254
150	16	16	15.5	16	16	15.9	381
200	22	22	22	22	22	22	508
250	27	27	26	27.5	27	26.9	635

$$F(\theta) = (19.417 + 31.3677 \theta - 0.115905 \theta^2) \times 0.8$$

r (cm)

Brazo de palanca = r (cm)

Lp = 31mm

r = 2.54 cm

Torsión

F (r = 2.54 cm)	θ	θ	θ	θ	θ	<θ>	F (r = 1 cm)
0	0	0	0	0	0	0	0
50	4	4.5	5	5	5	5	127
100	12	12.5	12	12	12	12	254
150	19	19	19	19	19	19	381
200	25	25	25	25	25	25	508
250	32	32	32	32	32	32	635

$$F(\theta) = (11.1219 + 26.2248 \theta - 0.0567414 \theta^2) \times 0.8$$

r (cm)

Lp = longitud del puente posterior

<θ> = promedio

La fuerza de torsión, se aplicó a una distancia de una pulgada (2.54 cm brazo de palanca), para estar dentro de los límites del dinamómetro. Posteriormente, se calculó la fuerza a 1 cm, aunque la fórmula debajo de cada cuadro, puede hacer el cálculo a cualquier brazo de palanca, esto es, r (cm). Esto es, si el ángulo de torsión promedio <θ> es de 12°, la fuerza marcada en gr es de 254 gr si el brazo de palanca es de 1 cm, marcado en el cuadro como r = 1 cm.

Cuadro VII. Torque de torsión. $L_p = 13 \text{ gr - cm}$

	$r = .5$.75	1	1.25	1.5	1.75	2.0
$\theta = 0^\circ$	-7.449	-4.966	-3.725	-2.98	-2.483	-2.128	-1.862
1°	92.39	61.59	46.19	36.95	30.8	26.4	23.1
2°	190.0	126.7	94.99	76.0	63.33	54.28	47.5
3°	190.0	126.7	94.99	76.0	63.33	54.28	47.5
4°	378.5	252.3	189.3	151.4	126.2	108.1	94.63
5°	469.4	312.9	234.7	187.8	156.5	134.1	117.4
6°	558.1	372.1	279.0	223.2	186.0	159.5	139.5
7°	644.5	429.7	322.3	257.8	214.8	184.2	161.1
8°	728.8	485.8	364.4	291.5	242.9	208.2	182.2
9°	810.8	540.5	405.4	324.3	270.3	231.6	202.7
10°	890.5	593.7	445.3	356.2	296.8	254.4	222.6
11°	968.0	645.4	484.0	387.2	322.7	276.6	242.0
12°	1043.0	695.6	521.7	417.3	347.8	298.1	260.8
13°	1116.0	744.3	558.2	446.6	372.1	319.0	279.1
14°	1187.0	791.5	593.6	474.9	395.7	339.2	296.8
15°	1256.0	837.2	627.9	502.3	418.6	358.8	314.0
16°	1322.0	881.5	661.1	528.9	440.7	377.8	330.6
17°	1386.0	924.2	693.2	554.5	462.1	396.1	346.6
18°	1448.0	965.5	724.1	579.3	482.8	413.8	362.1
19°	1508.0	1005.0	754.0	603.2	502.7	430.8	377.0
20°	1565.0	1044.0	782.7	626.2	521.8	447.3	391.4

 r = brazo de palanca (medido en cm) L_p = longitud del puente posterior (medida en mm) θ = grados de torsión

El brazo de palanca se midió de la cara palatina de la banda del molar soldada al brazo lateral del quad hélix, en dirección perpendicular al puente palatino posterior del aparato.

Como ejemplo para utilizar este cuadro, supongamos que $r = 1$ cm, con un quad hélix de longitud del puente posterior de 13 mm y una angulación de 10°, lo cual nos produce un torque de torsión de 445.3 gr-cm.

Cuadro VIII. Torque de torsión. $L_p = 18 \text{ mm gr-cm}$

	$r = .5$.75	1	1.25	1.5	1.75	2.0
$\theta = 0^\circ$	20.64	13.76	10.32	8.257	6.88	5.898	5.16
1°	93.62	62.41	46.81	37.45	31.21	26.75	23.4
2°	166.1	110.7	83.03	66.43	55.35	47.45	41.52
3°	238	158.6	119.0	95.19	79.32	67.99	59.49
4°	309.4	206.2	154.7	123.7	103.1	88.39	77.34
5°	380.2	253.5	190.1	152.1	126.7	108.6	95.05
6°	450.5	300.3	225.3	180.2	150.2	128.7	112.6
7°	520.3	346.9	260.1	208.1	173.4	148.7	130.1
8°	589.5	393.0	294.8	235.8	196.5	168.4	147.4
9°	658.2	438.8	329.1	263.3	219.4	188.1	164.6
10°	726.4	484.3	363.2	290.6	242.1	207.5	181.6
11°	794.1	529.4	397.0	317.6	264.7	226.9	198.5
12°	861.2	574.1	430.6	344.5	287.1	246.0	215.3
13°	927.7	618.5	463.9	371.1	309.2	265.1	231.9
14°	993.8	662.5	496.9	397.5	331.3	283.9	248.4
15°	1059.0	706.2	529.7	423.7	353.1	302.7	264.8
16°	1124	749.5	562.1	449.7	374.8	321.2	281.1
17°	1189	792.5	594.4	475.5	396.2	339.6	297.2
18°	1253	835.1	626.3	501.1	417.5	357.9	313.2
19°	1316	877.3	658	526.4	438.7	376	329
20°	1379	919.2	689.4	551.5	459.6	394	344.7

 r = brazo de palanca (medido en cm) L_p = longitud del puente posterior (medida en mm) θ = grados de torsión

Cuadro IX. Torque de torsión $L_p = 23 \text{ mm gr - cm}$

	r = .5	.75	1	1.25	1.5	1.75	2.0
$\theta = 0^\circ$	1.702	1.135	0.8512	0.681	0.5675	0.4864	0.4256
1°	59.76	39.84	29.88	23.91	19.92	17.08	14.94
2°	117.7	78.44	58.83	47.07	39.22	33.62	29.42
3°	175.4	116.9	87.71	70.17	58.47	50.12	43.85
4°	233	155.3	116.5	93.2	77.67	66.57	58.25
5°	290.4	193.6	145.2	116.2	96.81	82.98	72.61
6°	347.7	231.8	173.9	139.1	115.9	99.35	86.93
7°	404.8	269.9	202.4	161.9	134.9	115.7	101.2
8°	461.8	307.9	230.9	184.7	153.9	131.9	115.4
9°	518.6	345.7	259.3	207.4	172.9	148.2	129.6
10°	575.2	383.5	287.6	230.1	191.7	164.4	143.8
11°	631.7	421.2	315.9	252.7	210.6	180.5	157.9
12°	688.1	458.7	344.0	275.2	229.4	196.6	172
13°	744.2	496.2	372.1	297.7	248.1	212.6	186.1
14°	800.3	533.5	400.1	320.1	266.8	228.6	200.1
15°	856.1	570.8	428.1	342.5	285.4	244.6	214.0
16°	911.8	607.9	455.9	364.7	303.9	260.5	228.0
17°	967.4	644.9	483.7	387.0	322.5	276.4	241.8
18°	1023.0	681.9	511.4	409.1	340.9	292.2	255.7
19°	1078.0	718.7	539.0	431.2	359.3	308.8	269.5
20°	1133.0	755.4	566.5	453.2	377.7	323.7	283.3

 r = brazo de palanca (medido en cm) L_p = longitud del puente posterior θ = grados de torsión**Cuadro X.** Torque de torsión. $L_p = 28 \text{ mm gr - cm}$

	r = .5	.75	1	1.25	1.5	1.75	2.0
$\theta = 0^\circ$	30.76	20.5	15.38	12.3	10.25	8.788	7.689
1°	80.76	53.84	40.38	32.3	26.92	23.07	20.19
2°	130.4	86.93	65.19	52.16	43.46	37.25	32.6
3°	179.6	119.8	89.82	71.86	59.88	51.33	44.91
4°	228.5	152.4	114.3	91.41	76.18	65.3	57.13
5°	277.1	184.7	138.5	110.8	92.35	79.16	69.26
6°	325.2	216.8	162.6	130.1	108.4	92.91	81.3
7°	373.0	248.6	186.5	149.2	124.3	106.6	93.24
8°	420.4	280.3	210.2	168.2	140.1	120.1	105.1
9°	467.4	311.6	233.7	187.0	155.8	133.5	116.9
10°	514.1	342.7	257.0	205.6	171.4	146.9	128.5
11°	560.4	373.6	280.2	224.01	186.8	160.1	140.1
12°	606.3	404.2	303.1	242.5	202.1	173.2	151.6
13°	651.8	434.5	325.9	260.7	217.3	186.2	163.0
14°	697.0	464.7	348.5	278.8	232.3	199.1	174.2
15°	741.8	494.5	370.9	296.7	247.3	211.9	185.5
16°	786.2	524.2	393.1	314.5	262.1	224.6	196.6
17°	830.3	553.5	415.1	332.1	276.8	237.2	207.6
18°	874.0	582.7	437.0	349.6	291.3	249.7	218.2
19°	917.3	611.5	458.7	366.9	305.8	262.1	229.3
20°	960.3	640.2	480.1	384.1	320.1	274.4	240.1

 r = brazo de palanca (medido en cm) L_p = longitud del puente posterior θ = grados de torsión

dislocaciones y fronteras de grano en el material de que están fabricados los quad hélix. Al no haber dispersión en los datos, carece de sentido hablar de una «función de distribución» y la consecuente estadística asociada a tal distribución, salvo en la situación de considerar varios quad hélix con parámetros de construcción similares, que no es el presente caso.

Al evaluar los torques se hizo una estimación de la distancia a la cual se encuentra el centro de resistencia de la pieza molar.³⁷ Al hacerlo así se deja abierta la posibilidad de variaciones en los torques reales respecto a los tabulados, de modo que estos cuadros de torques sólo son tentativas, sin embargo, muestran el comportamiento en relación a los parámetros de construcción de los quad hélix, así mismo debe considerarse que los torques se suman vectorialmente por lo que para utilizar correctamente el cuadro elaborado debe considerarse la dirección en que actúa cada torque por separado y efectuar la suma vectorial correspondiente.

Conclusiones

En la evaluación de los resultados obtenidos encontramos:

1. En la construcción de los quad hélix al variar la longitud del puente posterior, hay una variación no lineal de la fuerza de expansión, según lo muestran los cuadros de fuerza de expansión (*Cuadros I, II, III y IV*).
2. A medida que aumenta la longitud del puente posterior, la fuerza por milímetro de expansión tiende a disminuir.
3. Al activar los quad hélix, hay un aumento en la fuerza de expansión en todos los casos, cuantificándose el aumento de fuerza así obtenida.
4. En relación a la fuerza de torsión, se encontró que no es directamente proporcional a la longitud del puente posterior, lo cual indica que el alambre no es completamente elástico en el movimiento de torsión.
5. Dentro de los resultados obtenidos anteriormente por el trabajo de Chaconas y Caputo y los resultados obtenidos en este trabajo, se puede estimar la fuerza en gramos por cada mm de variación de la distancia intermolar, pero estos resultados infieren que la variación entre la longitud en mm del puente posterior y la fuerza de expansión producida difiere de los resultados obtenidos por estos autores.
6. En los cuadros de torque de torsión, se encontró que la fuerza de torsión es aproximadamente proporcional al ángulo de giro para ángulos pequeños, no así para ángulos de 15° en adelante.

Bibliografía

1. Dixon AD. The early development of the maxilla. *Dent Pract* 1953; 3: 331-356.
2. Dixon AD. The development of the jaws. *Dent Pract* 1958; 9: 10-18.
3. Enlow DH, Bang S. Growth and remodeling of the human maxilla. *Am J Orthod* 1965; 51: 446-464.
4. Van der Linden. *Development of the dentition*. Quintessence, Chicago. 1983; 1-2.
5. Canut JA. *Ortodoncia Clínica*. Edit. Salvat. España 1989; 43-68.
6. Foster TD, Hamilton MC. Occlusion in the primary dentition. *Br Dent J* 1969; 126: 76-79.
7. Ben Bassat Y, Yaffe AB, Free SE. Functional and morphological-occlusal aspects for unilateral posterior crossbite. *Eur J Orthod* 1969; (1): 57-63.
8. Henrikson LA, Odenrik L, Modir T. Maxillary expansion of unilateral crossbite in preschool children. *Scand J Dent Res* 1986; 94: 411-418.
9. Da Silva OG, Villas-Boas MC, Capelozza FL. Rapid maxillary expansion in the primary and mixed dentitions. A cephalometric evaluation. *Am J Orthod* 1991; 100: 171-179.
10. Kurol J, Berglund L. Longitudinal study and cost-benefit analysis of the effect of early treatment of posterior cross-bite in the primary dentition. *Eur J Orthod* 1992; 14 (3) 173-179.
11. Ojeda-León S, De la Teja AE. Prevalencia de mordida cruzada en niños mexicanos. *Práctica Odontológica* 1990; 11: 11-15.
12. Gianelly A, Goldman H. *Biologic basis of orthodontics*. Philadelphia: Lea and Fabiger Ed; 1971: 1-3.
13. Graber TM. Current orthodontic concepts and techniques. Philadelphia: WB Saunders Co; 1969: 239-374.
14. Bjorn O, Larsson E, Lindsten R. The Effect of sucking habits cohort, sex, intercanine arch widths, and breast or bottle feeding on posterior crossbite in Norwegian and Swedish. *Eur J Orthod* 1994.
15. Moyers RE. *A handbook of Orthodontics*. 3er ed. Chicago: Year Book Medical Pub Inc; 1972: 243-271.
16. Ngan PW, Wei SH. Treatment of posterior crossbite in the primary and early mixed mixed dentitions. *Quintessence International* 1990; 21(6) 451-459.
17. Silva-Filho OD, Valladares NJ, Aleida RR. Early correction of posterior crossbite: Biomechanical characteristics of the appliances. *J Periodont* 1989; 13: 195-221.
18. Ricketts RM. *Bioprogressive therapy*. Ed RMO, Co USA. 2 Ed 1980; 255-258.
19. Viazis AD, Vadakis G, Zelos L, Gallagher RW. Designs and applications of palatal expansion appliances. *J Clin Orthod* 1992; 26 (4): 239-243.
20. Bishara SE, Staley R. Maxillary expansion: Clinical implications. *Am J Orthod* 1987; 91: 3-13.
21. Hicks EP. Slow maxillary expansion: A clinical study of the skeletal versus dental response to low-magnitude force. *Am J Orthod* 1978; 73: 121-141.
22. Haas AJ. The treatment of maxillary deficiency by opening mid palatal suture. *Angle Orthod* 1965; 35: 200-217.
23. Newmann B. Removable appliances. In: Graber TM, 3er Ed. *Current orthodontic concepts and techniques*. Sanders Co; 1969.
24. Jones SP, Waters NE. The quad-helix maxillary expansion appliance: part I mechanic. *Eur J Orthod* 1989; 11 (2): 169-178.

25. Chaconas SJ, Alba Y, Levy JA. Orthopedic and orthodontic applications of the quad-helix appliance. *Am J Orthod* 1977; 72: 422-428.
26. Catálogo RMO (*Rocky Mountain Orthodontics*). HI (Copyright 1989).
27. Henry RJ. Slow maxillary expansion: A review of quad-helix therapy during the transitional dentition. *J Dent Child* 1993; 60 (4): 408-13.
28. James AU. Effects of appliance size arch wire diameter, and alloy composition on the *in vitro* force delivery of the quad-helix appliance. *Am J Orthod* 1988; 94 (4) 311-315.
29. Majuerau A, Nanda R. Biomechanical basis of vertical dimension control during rapid palatal expansion therapy. *Am J Orthod* 1994; 106 (3): 322-328.
30. Ladner P, Muhl Z. Changes concurrent with orthodontic treatment when maxillary expansion is a primary goal. *Am J Orthod* 1995; 108 (2): 184-193.
31. Chaconas Spiro J, Caputo Angelo A. Observation of orthopedic force distribution produced by maxillary orthodontic appliances. *Am J Orthod* 1982; 82 (6): 492-501.
32. Sarver DM, Johnston MW. Skeletal changes in vertical and anterior displacement the maxilla with bonded rapid palatal expansion appliances. *Am J Orthod* 1989; 95(6) 462-466.
33. Browne CC, Sutton DJ, Twesme DA. Convertible Hass-Type rapid palatal expander. *J Clin Orthod* 1991; 25 (3): 163-165.
34. Schneidman E, Wilson S, Erkis R. Two point rapid palatal expansion and alternate approach to traditional treatment. *J Pediat Dent* 1990; 12 (2): 92-97.
35. Mossaz CF, Byloff FK, Richter M. Unilateral and bilateral corticotomies for correction of maxillary transverse discrepancies. *Eur J Orthod* 1992; 14(2): 110-116.
36. Wolfran S. Mathematica. *A system for doing mathematics by computer*. 2nd Ed Addison-Wesley, 1993; 139-140, 674-675.
37. Berkovitz BK, Holland GR, Moxham BJ. *A colour Atlas & Textbook of oral anatomy* Year Book Medical Publishers, Inc. 1979; (33).
38. Fox EA. *Mechanics*. Ed. Harper International 1967; 144-173.

Reimpresos:

Dr. Fernando Luis Parés

Sn Francisco 657 A-14

Col. del Valle México D.F. C.P.03100