



UNIVERSITAT DE
BARCELONA

Efectos a corto plazo de la expansión ortopédica del maxilar tratada con un láser de baja intensidad en dentición mixta

Valentín Javier García García



Aquesta tesi doctoral està subjecta a la llicència **Reconeixement- NoComercial – SenseObraDerivada 3.0. Espanya de Creative Commons.**

Esta tesis doctoral está sujeta a la licencia **Reconocimiento - NoComercial – SinObraDerivada 3.0. España de Creative Commons.**

This doctoral thesis is licensed under the **Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs 3.0. Spain License.**



DEPARTAMENT D'ODONTOESTOMATOLOGIA
FACULTAT D'ODONTOLOGIA
UNIVERSITAT DE BARCELONA

PROGRAMA DE DOCTORADO: CIÈNCIES ODONTOLÒGIQUES

EFFECTOS A CORTO PLAZO DE LA EXPANSIÓN ORTOPÉDICA DEL MAXILAR TRATADA CON UN LÁSER DE BAJA INTENSIDAD EN DENTICIÓN MIXTA.

Memoria presentada por **Valentín Javier García García** para optar
al título de **Doctor por la Universitat de Barcelona**

Directores de la tesis:

Josep M. Ustrell Torrent (Departamento de Odontoestomatología)

Patricia Carvalho Lobato (Unidad de Anatomía Humana y Embriología)

Tutora de la tesis:

M. Cristina Manzanares Céspedes (Unidad de Anatomía Humana y
Embriología)

Barcelona, 2015

Autorizamos la presentación de la tesis doctoral: EFECTOS A CORTO PLAZO DE LA EXPANSIÓN ORTOPÉDICA DEL MAXILAR TRATADA CON LÁSER EN DENTICIÓN MIXTA.

La tesis se basa en la presentación clásica, además se adjunta en anexos 2 publicaciones que firma el doctorando como primer o segundo autor:

- Carvalho P, Garcia VJ, Kasem K, Ustrell JM, Tallon V, Manzanares MC. **Tooth Movement in Orthodontic Treatment with Low-Level Laser Therapy: A systematic review of human and animal studies.** MC Photomed Laser Surg. 2014; 32: 302-9. doi: 10.1089/pho.2012.3439
- García VJ, Comaseña R, Kasem K, Ustrell JM, Badaoui A, Manzanares MC, Carvalho P. **Short-term effects of strain produced on a split palatal screw type Hyrax after rapid maxillary expansión: A clinical trial** Am J Orthod Dentofacial Orthop. Pendiente de publicación

L'Hospitalet de Llobregat, 22 de Septiembre de 2015.

Dr. Josep Maria USTRELL i TORRENT, Profesor Titular del Departamento de Odontostomatología. Universidad de Barcelona. Director de la tesis

Dra. Patricia CARVALHO LOBATO, Profesora Asociada del Departamento de Patología y Terapéutica Experimental. Universidad de Barcelona. Directora de la tesis.

Dra. Maria Cristina MANZANERES CÉSPEDES, Profesora Titular del Departamento de Patología y Terapéutica Experimental. Universidad de Barcelona. Tutora de la tesis.

*a mis hijos Lucía y Pablo,
a mi mujer Laura
y a mis padres...*

Agradecimientos

A la Dra. Patricia Carvalho Lobato, Profesora Asociada del Departamento de Patología y Terapéutica Experimental de la Universidad de Barcelona por enseñarme a luchar y no parar durante este arduo camino.

Al Dr. Ustrell i Torrent, Profesor Titular del Departamento de Odontoestomatología de la Universidad de Barcelona. Simplemente decir que gracias a la oportunidad que me dio soy ortodoncista.

A la Dra. M^a Cristina Manzanares, Profesora Titular del Departamento de Patología y Terapéutica Experimental de la Universidad de Barcelona por inculcarme el interés del estudio de la Anatomía.

Al Dr. Rafael Comesaña, Profesor Titular del Departamento de Ingeniería de Materiales, Mecánica Aplicada y Construcción de la Universidad de Vigo por demostrarme que la Ingeniería debe formar parte en adelante en la vida profesional del Ortodoncista. Sus conocimientos y su capacidad de comprensión no paran de sorprenderme. Un genio.

Al Dr. Josep Arnabat Domínguez, Profesor Asociado del Departamento de Odontoestomatología de la Universitat de Barcelona, por mostrarme como se habla con propiedad en el mundo de la fototerapia.

Al Dr. James D Carroll, investigador de THOR Photomedicine, Reino Unido, la supervisión por una eminencia en la fotobiomodulación es un honor.

Al equipo del servicio de Radiología del Hospital Odontològic. Universitat de Barcelona, es especial a Fran por sus conocimientos. A todo el personal de enfermería. Durante 2 años de clínica he pasado por todos los gabinetes del Hospital y siempre tenían un hueco donde colocarme. Gracias a todas.

A todos los odontólogos de los Centros de Atención Primaria cercanos al Hospital de Bellvitge y a la Dra. Carmen Lischeid Gaig por derivarme pacientes.

A mis Amigos y a toda mi familia por su ánimo y ayuda en momentos de mucha tensión. A ti Susana por demostrar que la inquietud no tiene edad y por tu espíritu para el debate.

No paro de pensar en recuperar el tiempo con mis hijos. Gracias a ti *Laura* he podido realizar esta tesis. Gracias a Domi y Valentín por mostrarme el significado del trabajo.

ÍNDICE cambiar números

	Pág.
Resumen	13
Abstract	17
Capítulo 1. INTRODUCCIÓN	21
Capítulo 2. MARCO DE REFERENCIA	27
2.1. Fisiología ósea	33
2.2. Intervenciones	49
2.3. Instrumentos – registros	90
Capítulo 3. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	105
3.1. Hipótesis	109
3.2. Objetivos	110
3.3. Objetivo revisión bibliográfica	112
Capítulo 4. MATERIAL, SUJETOS Y MÉTODOS	115
4.1. Diseño del estudio	121
4.2. Procedimiento clínico	158
4.3. Análisis de los datos	163
4.4. Medidas para suspender el tratamiento	166
4.5. Pautas éticas	168
4.6. Diseño de la revisión bibliográfica	170
Capítulo 5. RESULTADOS	175
5.1. Descripción de la muestra	179
5.2. Resultados del ensayo clínico (deformación)	183
5.3. Resultados del diseño experimental (test mecánico)	193
5.4. Resultados del ensayo clínico (láser)	200
5.5. Relación Tensión-Distancia Máxima Anterior	208
5.6. Resultados de la revisión bibliográfica	210
Chapter6. DISCUSSION	217
6.1. Strain behaviour	220
6.2. Determination of forces	224
6.3. Photobiomodulation	229

6.4. Relationship between Accumulated Strain – Laser Maximum Anterior Distance	235
Capítulo 7. CONCLUSIONES	243
7.1. Estudio de la tensión y su relación con el patrón de crecimiento y el láser	243
7.2. Estudio de la fuerza predicha que sufren los disyuntores de los pacientes en estudio	243
7.3. Conclusiones de la revisión bibliográfica	244
7.4. Estudio radiográfico de la sutura maxilar	244
Referencias bibliográficas	247
Listado de figuras	259
Listado de tablas	265
Abreviaturas	269
Anexos	273
Artículos publicados	285
1. Tooth Movement in Orthodontic Treatment with Low- level Laser Therapy: A systematic review of human and animal studies	285
2. Short-term effects of strain produced on a split palatal screw type Hyrax after rapid maxillary expansion: A clinical trial	295

Resumen

Objetivos

Establecer un patrón de tensión acumulada en diferentes partes de un disyuntor tras realizar una expansión rápida del maxilar (ERM) y relacionarlo con los diferentes patrones de crecimiento vertical. El estudio clínico fue realizado con 40 pacientes que presentaban mordida cruzada posterior y requerían una ERM. A continuación, se desarrolló un modelo de elementos finitos (MEF) de las fuerzas que se soportan tras una ERM, validando los datos con un test mecánico y posteriormente calculando las fuerzas que habían soportado los aparatos ERM de los pacientes. Finalmente, se evaluó la eficacia de la terapia láser de baja intensidad (LLLT) en la reparación de la sutura maxilar mediopalatina tras una ERM. Para profundizar sobre el remodelado óseo, se realizó una revisión bibliográfica con el fin de organizar la literatura existente publicada sobre el movimiento dentario durante el tratamiento de ortodoncia tratada con LLLT.

Emplazamiento

Área de ortodoncia del Hospital Odontològic de Bellvitge, Universitat de Barcelona, L'Hospitalet de Llobregat (Barcelona).

Aprobación ética

El Comité Ètic de Recerca Clínica del Hospital Odontològic de Bellvitge, L'Hospitalet de Llobregat, asignándole al ensayo el número de referencia 11/2011 y seguro de Responsabilidad Civil para ensayos núm. CE000343677.

Material y métodos

Las galgas extensiométricas fueron colocadas en los brazos del tornillo Hyrax del aparato RME para registrar la deformación (tensión) durante la fase de expansión (T0-T1) y la fase de retención durante 75 días (T2-T7) de 40 pacientes (edad media de 8,48 años). Se realizó un MEF para emplazar la galga en el punto del disyuntor que mejor expresaba la tensión. El coeficiente de variación de VERT se utilizó para clasificar a los pacientes por su patrón de crecimiento vertical.

Posteriormente, se modeló y se realizó el discretizado del diseño asistido de los modelos computarizados del tornillo metálico y de la placa polímera. Se generaron dos fuerzas que oscilaban entre 2,5 N y 55 Ny fueron consideradas independientemente, F1 en los molares temporales y F2 en los molares permanentes. Los resultados de análisis de elementos finitos (AEF) fue utilizado para definir los valores de deformación de las galgas A y B como una función lineal de las fuerzas F1 y F2, por el cálculo del coeficiente de tensión-

fuerza δ_{ij} . Las dos galgas extensiométricas fueron adheridas al aparato ERM el cual fue colocado en una placa motorizada 531.PD para reproducir las mismas fuerzas utilizadas en el AEF. Una vez validado el sistema, se invirtió la matriz para determinar las F1 y F2 utilizando los valores de tensión de los pacientes.

Antes de iniciar la aplicación laser en el ensayo se realizó una revisión bibliográfica en estudios sobre animales y humanos para estudiar la eficacia de la aplicación LLLT como acelerador del movimiento dentario y remodelado óseo. Se seleccionaron a tres revisores para cribar y los artículos. Los estudios seleccionados fueron analizados de acuerdo a los parámetros de aplicación láser y a los cambios clínicos e histopatológicos hallados.

Finalmente, a 39 individuos del ensayo (rango de edad 6,2-12,4) quienes completaron la ERM, se les realizó el análisis radiológico, 20 fueron irradiados y 19 actuaron como placebo. Al finalizar la fase activa de la expansión (T0-T1) se les realizó un escáner CBCT. Se trataron con un láser diodo, según el siguiente protocolo: 660 nm, 200 mW, CW, InGaAlP laser, una área iluminada de 0.26cm², 665 mW/cm², 60 segundos para 4 puntos a lo largo de la sutura medio palatina y 30 segundos por punto a cada lado de la sutura, 6.0 J, 40 J/cm² and 3.0 J, 20 J/cm² respectivamente. Un total de 7 aplicaciones fueron realizadas en los días 1, 7, 14, 28, 42, 56 y 70 durante la fase de retención (T2-T7). Un segundo escáner CBCT se realizó el día 75. Dos radiólogos calibrados analizaron los cortes axiales de los escáneres.

Una P-valor=0,05 se consideró estadísticamente significativa.

Resultados

Durante la fase de expansión, los valores más altos de tensión fueron acumulados en la zona posterior de los aparatos RME para todos los biotipos faciales, trasladándose a la zona anterior al finalizar la fase de retención en los pacientes braquicefálicos y mesocefálicos. Existió diferencias estadísticamente significativas en la tensión acumulada de los brazos posteriores según el patrón de crecimiento vertical (P=0,05) entre la diferencia de tensión en los tiempos T7-T2. A los 75 días de retención, el 61,25% de los brazos ya habían iniciado la disipación de tensión.

El AEF muestra que los efectos de las fuerzas sobre el estrés en la localización de los brazos fueron notablemente diferentes. Había una correlación satisfactoria entre las predicciones AEF y los valores experimentales del test mecánico. La disipación de F1 y F2 de los pacientes fue predicha en un 62,5% y 80%, respectivamente, tras 75 días de retención.

En cuanto a la revisión, se analizaron 84 estudios, seleccionando 5 en humanos, en los que se traccionaba el canino tras la extracción del premolar, y 11 en ratas, en los que se realizaba la tracción del primer premolar. Existieron diferencias estadísticamente significativas en los resultados para 4 estudios humanos y 8 estudios animales.

En el análisis radiológico, a los 75 días la sutura se describió que había habido cambios en la aproximación de los márgenes significativamente en

ambos grupos. Los pacientes irradiados presentaban aproximación en la zona antero-superior ($p=0,008$) y supero-posterior ($p=0,001$) y menos distancia en la sutura postero-superior ($p=0,040$) que el grupo placebo.

Limitaciones

No se valoró el espacio entre los márgenes de la sutura de los huesos palatinos.

Conclusiones

Los patrones de tensión acumulada en los aparatos ERM pueden variar dependiendo del biotipo facial. Los resultados respaldan el modelo del AEF para la predicción de fuerza a través de los valores experimentales. De acuerdo con la revisión, variando la longitud de onda con una dosis razonable en la zona diana se puede obtener los efectos biológicos deseados y alcanzar una reducción en el tiempo de tratamiento ortodóncico, aunque algunos estudios no demuestren que existe beneficio según sus resultados. Sin embargo, de acuerdo a nuestros resultados, LLLT parece estimular la reparación del proceso durante la fase de retención tras una ERM.

Conflicto de interés

Los autores declaran que no han tenido conflicto de interés.

Financiación

No ha habido ningún tipo de financiación.

Registro

No se ha realizado ningún registro del ensayo clínico.

Palabras clave: Tensión/Deformación, expansión rápida del maxilar, galgas extensiométricas, validación, análisis de elementos finitos, fuerza, tratamiento láser de baja intensidad, movimiento dentario, remodelado óseo, cone beam computed tomography.

Abstract

Objective

The aim of this study is to establish an accumulated strain pattern in different parts of rapid maxillary expansion (RME) appliances and relate them to different vertical growth patterns. A clinical study was conducted on 40 patients with posterior crossbite who required RME. Then, a finite element model (FEM) of the forces that patients with RME bear is developed, validating the aforementioned with an in vitro mechanical test and calculating the forces to which the RME appliances of a group of patients were exposed. Finally, to evaluate the effectiveness Low Level Laser Therapy (LLLT) on the repair of the midpalatal suture, after RME. To understand a remodeling bone a review was performed to organize the existing published literature regarding tooth movement in orthodontic treatment when low-level laser therapy (LLLT).

Setting

The Orthodontic Department at the Dental Hospital of Bellvitge, Barcelona University, Hospitalet de Llobregat, Spain.

Ethical approval

The Ethics Committee for Clinical Research of the Dental Hospital of Bellvitge, Hospitalet de Llobregat, adopted the trial under reference number 11/2011 and an insurance liability policy numbered CE000343677 was contracted.

Protocol

The protocol was not published prior to trial commencement.

Material and methods

Strain gauges were placed on the arms of the RME Hyrax screw appliance to record deformation (strain) during the expansion (T0-T1) and the retention phases for 75 days (T2-T7) of 40 patients (mean age of 8.48 years). A FEM was used to place the gauge at the point where the strain was most expressed. The VERT coefficient of variation was used to classify patients by their vertical growth pattern.

Posteriorly, computer-aided design models of the metallic screw and polymeric splint were modelled and discretized. Two forces were generated and considered independently, F1 at the temporary molar (2.5N to 55N), and F2 at the permanent molar (2.5N to 55N). The results of the finite element analysis (FEA) were used to define the strain values which the anterior and posterior arms of the RME appliance bore as a linear function of F1-F2, by calculating the strain-force coefficient δ_{ij} . Two strain gauge rosettes were attached to a RME appliance which was placed in an XY motorized stage 531.PD to reproduce the

same forces used in the FEA. Once the system was validated, the matrix was inverted to determine forces F1 and F2 using strain values of patients.

Before to start with the laser application, studies in humans and animals in which LLLT was applied to increase the dental movement were reviewed. Three reviewers selected the articles. The resulting studies were analyzed according to the parameters used in the application of laser and existing changes clinically and histopathologically.

Finally, 39 children (range 6-12 years old), completed RME and were randomized to received active LLLT (n=20) or placebo (n=19). After RME a CBCT-scan was carried out. The laser parameters and dose were: 660nm, 200mW, CW, InGaAlP laser, illuminated area 0.26cm², 665mW/cm², 60 seconds to four points along mid-palatal suture and 30 seconds to a point each side of the suture, 6.0 J, 40 J/cm² and 3.0 J, 20 J/cm² respectively. A total of 7 applications were made on days 1, 7, 14, 28, 42, 56 and 70 of the retention phase RME a CBCT-scan was carried out on the day of the first laser treatment and at. At day 75, a second CBCT-scan was performed. Two radiologists synchronized the slices of two scans to be assessed. P=0.05 was considered to be statistically significant.

Results

During the expansion phase, the highest values of accumulated strain were measured in the posterior part of the appliance for all facial biotypes, but said values passed to the anterior area at the end of the retention phase on mesocephalic and brachycephalic patients. There were statistically significant differences in the strain of the posterior arms in accordance with the vertical growth pattern (P = 0.05) between the T7 -T2 times. At 75 days' retention, 61.25% of the arms had already begun strain dissipation.

FEA showed that the effects of the forces on stress at the location of the arms were notably different. There was a satisfactory correlation between FEA predictions and in vitro values. Dissipation of F1 and F2 in patients was predicted to be 62.5% and 80%, respectively, after 75 days of retention.

84 studies were analyzed. 5 human studies were selected in which canine traction had been performed after removing a premolar and 11 studies in rats were selected in which first premolar traction was realized. There were statistically significant changes in four human studies and eight animal studies.

In our study, at day 75 the suture was described as significantly approximate change in both groups. Irradiated patients presented approximation in the anterior (p=0.008) and posterior (p=0.001) superior suture and less distance in the posterior superior suture (p=0.040) that placebo group.

Limitations

Gaps between suture margins of the palatine bones were not assessed.

Conclusions

The accumulated strain pattern in the RME appliance can vary depending on the facial biotype. These results back the FEA model for force prediction from experimental strain values. According to the review, varying the wavelength with a reasonable dose in the target zone leads to obtaining the desired biological effect and achieving a reduction of the orthodontic treatment time, although there are studies that do not demonstrate any benefit according to their values. However, according to the results of our study, LLLT appears to stimulate the repair process during retention phase after RME.

Conflict of interest

The authors declare that they have no conflict of interest.

Funding

No funding sources were used.

Registration

No registration was carried out.

Keywords: Strain, rapid maxillary expansion, strain gauges. Validation, finite element analysis, forces, low-level laser therapy, tooth movement, remodeling bone, cone beam computed tomography.

CAPÍTULO 1

Introducción

Capítulo 1

Introducción.

Tras 7 años de dedicación exclusiva en Ortodoncia empecé a comprender el potencial de esta disciplina y cómo funcionaba, a la vez que me surgían más y más dudas. Amante de la Ortopedia Maxilar me di cuenta que, gracias a que había estudiado lo relativo en el máster durante 3 años, estaba aplicando fuerzas, controlando tiempos y moviendo estructuras importantes de complejo craneal con cierto criterio. Criterio que ha resultado ser inicial teniendo en cuenta todo lo que he descubierto gracias a la elaboración del doctorado. Siempre he tenido la premisa de tratar a mis pacientes de corta edad como si fuesen hijos o sobrinos míos. Fue así que durante la espera del nacimiento de mi primera hija, el hecho de sentirme padre y querer lo mejor para mis hijos, me empujó a tratar de comprender mejor lo que estaba haciendo y que mejor que la oportunidad que me ofrecía el campo de la investigación.

En consecuencia, decidí en su momento profundizar sobre lo que sucede tras una expansión rápida del maxilar a través del estudio de la tensión y aprovechar para utilizar nuevas tecnologías como es el uso del láser.

En el presente trabajo, Tesis Doctoral titulada *Efectos a corto plazo de la expansión ortopédica del maxilar tratada con un láser de baja intensidad en dentición mixta*, se estudia y analiza el comportamiento de un disyuntor tipo McNamara desde el inicio de la activación hasta los 75 días de retención fija, aplicando luz láser durante la fase de retención.

El ensayo se podría dividir en cuatro análisis: el primero analiza el comportamiento de la tensión acumulada en los brazos del disyuntor, el segundo tiene como objetivo predecir la fuerza que soportaron los disyuntores de los pacientes, el tercero es una revisión bibliográfica de los efectos del láser de baja intensidad para acelerar el movimiento dentario y por último se analiza los efectos radiológicos que se producen entre el grupo placebo y el grupo irradiado tras aplicar láser, es decir, la eficacia de este tipo de luz.

Ante el desafío de iniciar el proyecto se decidió realizar dos revisiones bibliográficas. En la primera, me di cuenta que ya en los años 60 del siglo pasado Isaacson y Zimring nos marcaron el camino a seguir con el uso de las galgas extensiométricas colocadas en el aparato expansor en humanos. La idea me pareció tan buena y directa que simplemente se intentó desarrollar utilizando un protocolo más actualizado e intentando relacionar la tensión acumulada con nuevas variables. Con la ayuda de Modelos de Elementos

Finitos y de test mecánicos se ha podido validar un sistema con el que se ha predicho las fuerzas a las que estuvieron sometidos los pacientes. En la segunda revisión, debido a la escasez de estudios que valorasen los efectos del láser en la sutura tras la ortopedia, se decidió indagar sobre otro tipo de osteogénesis de la que nos encargamos de producir los ortodoncistas, el remodelado óseo por el movimiento dentario. Esta nos marcó las pautas a seguir y una ligera idea de lo que podíamos hacer. De manera que se decidió irradiar la totalidad de la sutura maxilar y estudiar sus efectos a través de los hallazgos radiológicos obtenidos con escáneres de baja radiación.

Por último decir, que para realizar esta tesis han colaborado profesionales de diferentes disciplinas científicas como es la ortodoncia, la anatomía, la radiología, la cirugía oral, la física e ingeniería; convirtiéndose así en un equipo multidisciplinar que han abordado diferentes campos y materias con el objetivo de analizar los resultados de manera exhaustiva. Con la publicación de dichos resultados, junto a todos los autores que han colaborado, se pretende hacer nuestra aportación a la investigación y contribuir así a elevar el nivel científico de la odontología.

CAPÍTULO 2

Marco de referencia

2.1. Fisiología ósea	33
2.1.1. Tipos de hueso	33
2.1.1.1. Hueso reticular	34
2.1.1.2. Hueso maduro	34
a. Hueso cortical, denso o compacto	34
b. Hueso esponjoso, trabecular o plexiforme	34
2.1.2. Composición del tejido óseo	35
2.1.2.1. Matriz ósea	35
a. Sustancia intercelular	35
2.1.2.2. Células óseas	37
a. Osteoblastos	38
b. Células limitantes (Bone lining cells)	39
c. Osteocitos	39
d. Osteoclastos	
2.1.2.3. Fracción inorgánica o componente mineral	40
2.1.3. Osteogénesis Craneal	40
2.1.3.1. Osificación endocondral	42
2.1.3.2. Osificación membranosa	42
2.1.4. Remodelado óseo	42
2.1.4.1. Funciones del fenómeno de remodelación ósea	42
2.1.4.2. Regulación del remodelado óseo	42
a. Factores hormonales	43
b. Factores autocrinos y paracrinos	43
c. Sistema RANK-RANKL-OPG	44
d. Factores mecánicos	44
2.1.4.3. Importancia del remodelado óseo en ortopedia maxilofacial	44
2.1.5. Complejo nasomaxilomalar	45
2.1.5.1. Crecimiento y dirección del desarrollo	45
2.1.5.2. Tipos de sutura	48
2.2. Intervenciones	49
2.2.1. Corrección de la Mordida Cruzada Posterior (MCP)	49
2.2.1.1. Definiciones de la MCP	49
a. Justificación del tratamiento precoz	49
2.2.1.2. Causas	50
a. Factores genéticos	50
b. Hábitos inadecuados	51
c. Alteraciones funcionales	53
d. Traumatismos e interferencias oclusales	53
2.2.1.3. Clasificación	55
2.2.1.4. Frecuencia	60
2.2.1.5. Tratamiento de la MCP	60
a. Mordida cruzada bilateral (MCB)	60
a.1. No existe compensación	60
a.2. Existe compensación	60
b. Mordida cruzada unilateral (MCU)	62
b.1. Desviación mandibular. RC≠PIM	62
b.2. Desviación mandibular. RC=PIM	64
b.2.1. Existe crecimiento	64
b.2.2. No crecimiento	64
b.3. No desviación mandibular. RC=PIM	65
c. Mordida incompleta (MI)	66
d. Mordida Cruzada oculta (MCO)	66
d.1. Relación sagital de clase II	66
d.2. No existe mordida cruzada.	67
e. Mordida cruzada completa (MCC)	67
e.1. Afectación dentoalveolar	67
e.2. Afectación esquelética	67
2.2.1.6. Definición de Expansión Rápida Palatina (ERP)	68

a. Efectos biológicos. Dentales, esqueléticos y de tejidos blandos	68
b. Recidiva tras una EMR	70
2.2.1.7. <i>Causas generales de recidiva</i>	70
a. Tensión de las estructuras del cráneo	71
2.2.2. Aplicación de LÁSER de baja intensidad	71
2.2.2.1. <i>Bases Científicas</i>	71
a. Principio Físico	71
b. Como se produce la luz	72
c. Absorción y emisión de luz	72
d. Amplificación de luz por emisión estimulada	73
e. Radiación Láser	73
2.2.2.2. <i>Sistemas láser</i>	74
2.2.2.3. <i>Clasificación láser</i>	75
a. Clasificación según Foods and Drugs Administration FDA	75
b. Clasificación física	75
c. Clasificación clínica	75
2.2.2.4. <i>Interacciones con el tejido</i>	76
a. Interacción fotoquímica	76
b. Interacción fototérmica	78
c. Efectos fotomecánicos	78
2.2.2.5. <i>Aplicaciones dentales</i>	79
a. Ortodoncia y ortopedia maxilo-mandibular	80
a.1. Elección de la longitud de onda - 660 nm	81
2.2.2.6. <i>Seguridad láser</i>	82
a. Clasificación de los riesgos	82
b. Requisitos de seguridad	82
c. Precauciones a tener en cuenta en nuestro estudio	84
2.2.2.7. <i>Información del dispositivo y parámetros de irradiación y de tratamiento</i>	85
a. Información del dispositivo Thor NX	85
b. Parámetros de irradiación y de tratamiento	86
2.3. Instrumentos – registros	90
2.3.1. Cone Beam Tomography Computerized (CBCT) - Kodak 9000C/3dCeph	90
2.3.1.1. <i>Obtención de imágenes con el CBCT</i>	90
a. Funcionamiento	90
b. Visualización	91
2.3.1.2. <i>Características del CBCT</i>	92
2.3.2. Registro de tensión	93
2.3.2.1. <i>Model D4 Data Acquisition Conditioner</i>	93
2.3.2.2. <i>Galga extensiométrica</i>	94
2.3.2.3. <i>Medición en Strain Gauge</i>	96
2.3.3. Modelo elementos finitos (MEF)	97
2.3.3.1. <i>Introducción breve</i>	97
2.3.3.2. <i>Como definir al material que simula el MEF</i>	98
a. Hipótesis de discretización	99
b. Elasticidad de un material	100

Capítulo 2

Marco de referencia.

2.1. Fisiología ósea.

El hueso es un tejido conectivo especializado que junto con el cartílago forman el sistema esquelético. Las propiedades del tejido ofrecen una serie de funciones al esqueleto humano (Clarke 2008):

- Rigidez. Permite el soporte estructural para el resto del cuerpo y protege a los órganos y estructuras internas vitales.
- Resistencia. Soporta las cargas y genera propulsión contra la gravedad.
- Ligereza. Permite el movimiento y la locomoción, proporcionando palancas para los músculos.
- Flexibilidad. Absorción de energía y su recuperación.
- Capacidad de reparación. Formación de callo en las fracturas y manejo de la fatiga y del micro-daño.

Además (Arbolea y Castañeda 2013):

- Metabolismo activo. Proporciona el mantenimiento de la homeostasis mineral y el equilibrio ácido-base, sirve como un reservorio de factores de crecimiento y citoquinas, proporciona el ambiente para la hematopoyesis dentro de los espacios medulares y realiza una acción endocrina (función renal y metabolismo energético).

Desde un punto de vista anatómico, en el esqueleto se encuentran dos tipos diferentes de huesos: los huesos planos derivados de la osificación intramembranosa, como pueden ser la escápula, la mandíbula y huesos del cráneo, y los huesos largos formados por osificación endocondral, como la tibia, el fémur y húmero.

El hueso está recubierto por el periostio, que es una membrana de tejido conectivo, y en el interior por el endostio. El periostio se compone por una capa externa delgada de tejido conectivo muy denso, irregular y vascularizada y por una capa profunda en donde se albergan las células osteoprogenitoras. Las fibras de Sharpey, que son haces de fibra de colágeno, fijan el periostio al hueso. A su vez, el endostio recubre las cavidades vascularizadas del hueso compuesto de células hematopoyéticas y osteógenas.

2.1.1. Tipos de hueso.

Desde un punto de vista macroscópico, según su orientación y grosor de fibras, se clasifica en hueso reticular o inmaduro y en hueso maduro o secundario.

2.1.1.1. Hueso reticular.

Se encuentra durante el desarrollo embrionario y en el recién nacido, transformándose en hueso maduro a partir de los 4 años. En la fase adulta persisten restos de este tipo de hueso en las zonas de inserción ligamentosa y tendinosa, alveolos dentarios, en márgenes de suturas craneales y en los huesecillos del oído. También se forma en la primera etapa de la formación del callo de fractura y en situaciones patológicas como la osteogénesis imperfecta.

Es flexible, débil y con capacidad de deformación por presentar un hueso con mayor concentración de células, una disposición arbitraria y desordenada de las fibras de colágeno y con menor concentración mineral que el hueso maduro.

2.1.1.2. Hueso maduro.

Histológicamente está organizado en múltiples capas estructuradas y con las fibras de colágeno dispuestas de forma específica en función de las cargas que deban soportar. A su vez está dividido en hueso cortical y trabecular.

a. Hueso cortical, denso o compacto.

Representan el 80% del total del tejido óseo y la constituye la mayor parte de la diáfisis de los huesos largos y la parte externa de todos los huesos del cuerpo. El 80-90% del hueso cortical está calcificado por lo que su principal función es de protección y de soporte. Se estructura en forma de láminas o anillos concéntricos (8-15) dando lugar a la osteona que es la unidad funcional del hueso cortical. En el centro de cada osteona se halla el conducto de Havers que se extiende longitudinalmente. A su vez, están conectados con los conductos de Volkman, que perforan el periostio, y ambos son utilizados por los vasos sanguíneos, linfáticos y nervios para extenderse por el hueso. Entre las láminas concéntricas de matriz mineralizada existen orificios o lagunas de forma elíptica en donde se encuentran los osteocitos (OS). Estos pueden intercambiar nutrientes con el líquido intersticial a través de una laguna por donde se extiende sus prolongaciones.

Se denomina sistema de Havers al conjunto compuesto por la osteona, sus lagunas y los OS que se encuentran y cuyo diámetro medio es de 200-300 µm. Las láminas entre osteonas se llaman láminas intersticiales y las láminas en contacto con el periostio y endoestio se llaman láminas circunferenciales (Roach 2013).

b. Hueso esponjoso, trabecular o plexiforme.

Es el 20% del total de los huesos y se encuentran en las zonas metafisarias de los huesos largos y de las cavidades medulares de los huesos cortos. Está compuesto por láminas intersticiales dispuestas de forma

superpuesta, no concéntrica, formando unos tabiques llamados trabéculas. Estas trabéculas forman una estructura esponjosa que deja huecos para que se albergue la médula ósea roja y los OS. A diferencia del hueso compacto, en el hueso esponjoso el vaso sanguíneo es el que penetra directamente en el hueso y permite el intercambio de nutrientes por parte del OS (Roach 2013).

En el complejo maxilofacial, los huesos planos de la bóveda craneal y el resto de huesos presentan una cortical interna, externa y en el interior de ésta el hueso esponjoso. El maxilar sigue dicha disposición a excepción de la zona de la tuberosidad, en la que se adquiere la morfología de los huesos cortos. En la figura 2.1 se representa el hueso laminar o maduro.

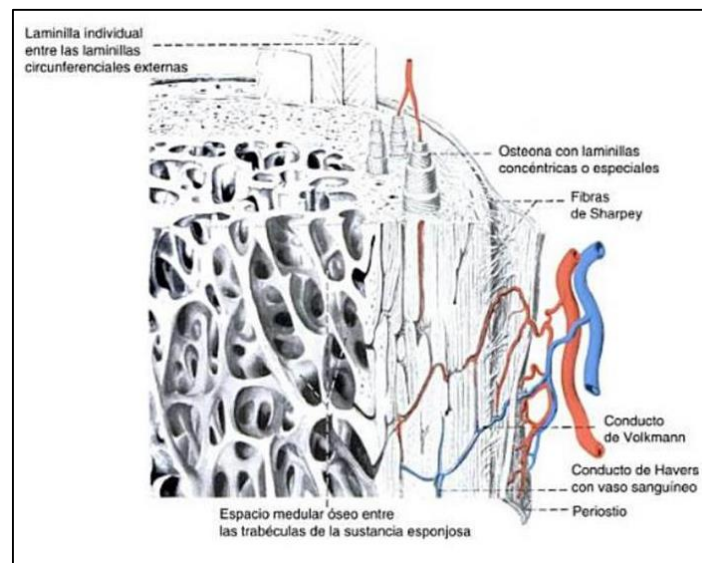


Figura 2.1. Representación esquemática del hueso laminar.

Fuente: Welsch U. Sobotta Histología. 3ª ed. München: Ed. Médica Panamericana; 2008.

2.1.2. Composición del tejido óseo.

El tejido óseo consta de unos elementos celulares y un componente extracelular o matriz que a su vez, está compuesto de una parte orgánica y otra mineral.

2.1.2.1. Matriz ósea.

Compuesto por un 2% de células y por un 98% de sustancia intercelular (Gurley y Roth 1992).

a. Sustancia intercelular.

Fibras colágenas. Representa el 90% de la matriz extracelular siendo sobre todo de tipo I (>95%) y de tipo V (<5%). El colágeno es una molécula proteica secretada por células del tejido conjuntivo, los fibroblastos. Se

compone de tres cadenas de polipéptidos formando una molécula estable en forma de triple hélice. Dichas moléculas se alinean y forman fibrillas de colágeno que a su vez se agrupan en haces y es cuando forman las fibras de colágeno. Principalmente están compuestas de aminoácidos hidroxilisina e hidroxiprolina que se estabilizan por puentes de hidrógeno. No tienen gran afinidad al calcio, sin embargo la orientación de las fibras cambia de capa en capa formando una estructura lamelar que permite una mayor densidad y por lo tanto otorga al hueso resistencia a la tracción.

Fibras no colágenas. Representan entre un 5-10% y están secretadas por los osteoblastos (OB). Se debe destacar las siguientes proteínas:

- Proteoglicanos. Se trata de moléculas de gran tamaño formadas por glicosaminoglicanos o mucopolisacáridos unidos a una proteína. Se encuentra el hialuronano, el condroitín-sulfato, el biglicano y la decorina. Mientras que el condroitín-sulfato interviene en las fases iniciales de la morfogénesis ósea, la decorina lo hace a posteriori.
- Proteínas con ácido γ -carboxi-glutámico. La osteocalcina (OCN) regula la maduración mineral. Es el mayor producto de los OB, plaquetas y los OS y depende de la vitamina D Y K. El nivel plasmático de la OCN se considera un marcador bioquímico de la osteogénesis, relacionándose con el número y actividad de los OB. El ácido γ -carboxi-glutámico liga el calcio y necesita vitamina K para su síntesis.
- Glicoproteínas. A destacar la osteonectina, la fóstasa alcalina (FA) y las proteínas con el tripéptido RGD (arginina-glicina-aspartico)
 - Osteonectina. Presenta una gran afinidad a los iones de calcio, al colágeno tipo I y a la hidroxiapatita. Actúa como inhibidor de crecimiento de los cristales de apatita y desempeña una importante acción en el inicio de la mineralización.
 - FA. Enzima hidrolasa responsable de eliminar grupos fosfatos inorgánicos de varios tipos de moléculas como los nucleótidos, proteínas y alcaloides. Se considera un buen marcador en la actividad osteoblástica.
 - Proteínas con el tripéptido RGD. También denominadas SBLINGS (Small Integrin-Binding Ligand, N-linked Glycoprotein. Importantes para el remodelado y regeneración ósea. La secuencia RGD (Arginina-Glicina-Aspartico) es reconocida por las integrinas de los OB. Todas están implicadas en cierto modo en las primeras fases de la adhesión celular.
 - Osteopontina. Inhibe el crecimiento cristalino cuando está en solución, aunque lo favorece cuando se absorbe alguna superficie implantada.
 - Sialoproteínas óseas. Favorece la formación de cristales de hidroxiapatita y es un indicador temprano de la diferenciación osteoblástica.

- Fibronectina. Promueve la mineralización mediante la fijación de los cristales de hidroxapatita.
 - Trombospondina. Existen 5 tipos (TSP 1-5) subdivididos en grupos A y B con y con capacidad de inhibir la formación de vasos sanguíneos (antiangiogénesis).
 - Vitronectina. También involucrada en la propagación celular.
-
- Proteínas procedentes del plasma. Se trata de la albúmina y la α_2 -SH-glicoproteína y están relacionadas con la incorporación del calcio a la matriz osteoide.
 - Factores de crecimiento. Representan el 1% de las proteínas no colágenas y regulan la diferenciación, crecimiento y proliferación de las células madre estromales mesenquimales (MSCs) de forma autocrina o paracrina.
 - Factor de transformación β . Principal función de la quimiotaxis y diferenciación de las MSCs para la producción de colágeno por parte de los OB. Inhiben la formación de osteoclastos (OC) y la reabsorción ósea.
 - Proteínas morfogenéticas óseas (BMP). Son mitogénicas para las células óseas induciendo a la producción de osteocalcina.
 - Factor de crecimiento fibroblástico. Mediante los fibroblastos se produce fibronectina, induce la proliferación y diferenciación de los OB e inhibe la actividad osteoclástica.
 - Factor de crecimiento plaquetario. Facilita la angiogénesis y realiza un efecto quimiotáctico y activador a través de los macrófagos y favorecen la formación de colágeno tipo I por parte de los OB.
 - Factor de crecimiento insulínico (IGF-1). Estimula la proliferación y diferenciación de las MSCs y células de revestimiento, y la producción de osteocalcina, fosfatasa alcalina y colágeno tipo I por parte de los OB.

2.1.2.2. Células óseas.

Constituyen el 2% como componente celular de toda la matriz orgánica del hueso. Básicamente están formadas por células OB y OC. La formación ósea es dependiente del reclutamiento de un número suficiente de OB a las superficies que han sido sometidas al ataque de los OC. Proceden de un subgrupo de células madre mesenquimales con capacidad de diferenciación osteogénica. Aunque la localización exacta de estas células in vivo no se conoce, recientes estudios sugieren que podrían situarse en la superficie

externa de los sinusoides medulares y que alcanzarían las superficies óseas a través de canales vasculares en respuesta a señales procedentes de los sitios de remodelado óseo (RO), bien de la matriz reabsorbida o de los propios OC activos (Marie y Kassem 2011). Los OC son derivados a partir de precursores del compartimento hematopoyético denominado unidad formadora de colonias granulocitos-macrófagos. Existe una relación directa en condiciones normales de resorción y formación de hueso, de manera que la masa ósea se mantiene estable (Parfitt et al. 1996). En la figura 2.2 se puede apreciar un esquema de un OB, OC y OS.

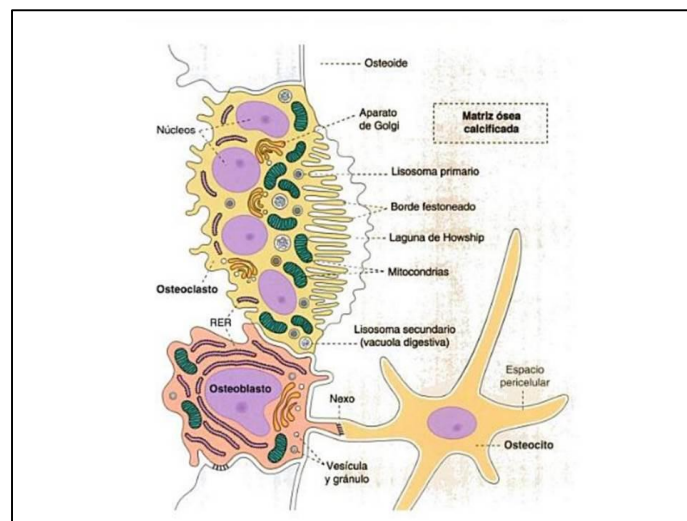


Figura 1.2. Representación esquemática de un osteoblasto, osteocito y osteoclasto.
Fuente: Welsch U. Sobotta Histología. 3ª ed. München, Germany: Ed. Médica Panamericana; 2008

a. Osteoblastos.

Células de forma cúbica, citoplasma basófilo y con alta concentración de una isoenzima específica de la fosfatasa alcalina. A partir de las células MSCs actúa un regulador en la diferenciación osteoblástica que se denomina Runx2 (runt-related transcription factor 2) que se da lugar en células osteoprogenitoras y a continuación en las células preosteoblastos aspecto fibroblástico (Baek y Kim 2011). Para que se acabe de diferenciar a OB el regulador Runx2 no es suficiente por lo que es necesario una proteína relacionada con la paratohormona (PTH/PTHrp), el factor de crecimiento insulínico tipo 1 (GH/IGF-1), BMP y la vía Wnt (familia de glucoproteínas que actúan como ligandos naturales que desencadenan cascadas de señales claves en el proceso embrionario y de regeneración tisular) (Chen et al. 2012). Los OB tienen una diferenciación terminal con lo cual no se pueden dividir. Se disponen en grupo formando una capa en contacto directo con el hueso situándose el núcleo de la célula lo más alejado a la superficie ósea y con el aparato de Golgi en medio con abundantes cisternas de retículo endoplasmático rugoso. Sintetizan el

componente orgánico de la matriz ósea: fibras de colágeno tipo I, proteínas no colágeno y factores de crecimiento. Cuando un OB finaliza su síntesis de matriz, se aplanan y se convierten en células de revestimiento (células del endotelio). Si el OB queda atrapado en la matriz mineralizada por material osteoide adquiere un aspecto estrellado y es cuando se denomina OS.

b. Células limitantes (Bone lining cells).

Células elongadas y aplanadas, con un núcleo en forma de huso y sin apenas organelas. Las células lining juegan un papel importante en el RO (Everts et al. 2002). En una primera fase limpian, antes que los OC se anclen en la superficie ósea, la superficie de fibrillas de colágeno no mineralizadas. Los OC ya pueden anclarse a la superficie, digerir y retirarse. A posteriori, las células lining ocupan las lacunas de Howship y digieren los sobrantes. Una vez está totalmente limpia la superficie forman una línea de cemento y depositan una delgada capa de colágeno sobre la hendidura formada. A continuación acuden los OB y se forma el nuevo hueso.

c. Osteocitos.

Son las más abundantes (90-95%) y pueden alcanzar los 25 años de supervivencia. La zona que ocupa el OS rodeado de material osteoide se denomina laguna osteocítica y su forma y localización dependerá de si se trata de un hueso maduro o inmaduro. Cada OS posee un elevado número (hasta 50) de prolongaciones de morfología dendrítica que se distribuyen por el tejido circundante y alcanzan la superficie, utilizando canalículos por los que circulan pequeñas moléculas, como óxido nítrico y prostaglandinas, que participan en una extensa red de señalización que empieza a ser reconocida como una parte fundamental del control del RO. Estas dendritas sirven de unión con otros OS cercanos y también con los OB, células endoteliales y OC superficiales, para lo que se sirven de estructuras nodales especializadas que contienen integrinas y conexinas (Batra et al. 2012). Los OS presentan poca actividad metabólica pero aun así se preservan para mantener las propiedades biomecánicas del tejido óseo. Es decir, su situación es ideal para detectar el estrés mecánico y las microlesiones de la matriz, pudiendo transmitir señales a las células de revestimiento y poder así modular localmente el RO (Martin 2000).

d. Osteoclastos.

Células multinucleadas (10-12 núcleos), de citoplasma acidófilo y con alta concentración de anhidrasa carbónica y TRAP (Tartrate-resistant acid phosphatase). A diferencia de los OB, son de mayor tamaño y se disponen sobre superficies óseas de manera aislada o en grupos poco numerosos, a través de las integrinas $\alpha\beta3$, $\alpha\beta5$ y $\alpha2\beta1$, en zonas calcificadas llamadas

lagunas de Howship. Sus células son polarizadas al igual que los OB, es decir, los núcleos se sitúan en el extremo más alejado de la superficie ósea sobre la que se disponen. Las organelas se encuentran en el citoplasma perinuclear en donde los complejos de Golgi son abundantes, mientras que en el resto de citoplasma se observa abundantes mitocondrias. A parte presentan una región basal de intercambio de señales externas y una zona unida al tejido óseo calcificado (zona fruncida), que posee una estructura específica denominada ribete en cepillo. Entre la región basal y matriz ósea queda comprendida una zona convertida en un microambiente que se halla aislada del intersticio medular. Tras la señal de activación primaria, se produce el anillo de actina y el sellado hermético de la zona, que va permitir el intercambio de iones y proteasas necesario para la resorción ósea.

Mecanismo de acción. En la zona de contacto la membrana plasmática del osteoclasto, la anhidrasa carbónica, disocia el ácido carbónico citosólico en protones (H^+) y bicarbonato (HCO_3^-), siendo este último intercambiado por cloro (Cl^-), de manera que se conserva el estado isoeléctrico intracelular. El protón se dirige al ribete en cepillo, donde es captado por una bomba de protones dependiente de una ATPasa específica (H^+ -ATPasa) que lo transporta a la laguna osteoclástica. En la vecindad de esta bomba se sitúa un canal iónico: canal de cloro 7 o ClC_7 . En concreto, este canal, intercambia 2 Cl^- por un H^+ y está considerado como fundamental en los procesos de acidificación lisosómica en general y en la resorción ósea en particular. En la laguna osteoclástica, gracias a la unión de los iones, se genera ácido clorhídrico que acidifica el medio y provoca la disolución de hidroxapatita, liberando calcio, fosfato y favoreciendo la carga iónica citoplasmática en equilibrio. Mediante los lisosomas, se segrega cisteinproteasa, catepsina K y metaloproteasas que producen una disolución de la matriz orgánica. Los productos degradados entran en el osteoclasto por endocitosis y son liberados, una vez transportados en vesículas ricas en fóstasa ácida resistente al tartrato, por exocitosis (Graves et al. 2008). La membrana también expresa RANK, receptor para RANKL, factor estimulante de colonias de macrófagos y receptores de calcitonina capaces de inactivar rápidamente al osteoclasto.

2.1.2.3. Fracción inorgánica o componente mineral.

Representa el 65% del peso del tejido óseo y está compuesto por calcio, fosfato y carbonato (en proporciones de 10:6:1) en forma de pequeños cristales de hidroxapatita $3Ca_3(PO_4)_2(OH)_2$. También existe una pequeña proporción de magnesio, sodio, potasio, manganeso y flúor. El plasma se encuentra sobresaturado de calcio y fósforo respecto a la hidroxapatita, por lo que debe haber sustancias que inhiban la mineralización. Las proteínas con capacidad adhesiva favorecen la mineralización, mientras que los proteoglicanos, magnesio, adenosín trifosfato (ATP) y pirofosfato la inhiben. Los cristales de hidroxapatita se disponen en las fibras de colágeno y dicha unión es la que da la propiedad mecánica al hueso (Clarke 2008).

2.1.3. Osteogénesis Craneal.

Durante el desarrollo embrionario, la formación de los elementos esqueléticos del cráneo puede producirse por dos mecanismos: osificación endocondral y osificación membranosa.

2.1.3.1. Osificación endocondral.

El mesénquima indiferenciado embrionario se transforma en tejidocartilaginoso, caracterizado por la presencia de condrocitos, que por mediación de una vascularización progresiva inician un proceso que comportará su proliferación y posterior hipertrofia. Los condrocitos maduros sufrirán apoptosis una vez se produzca la mineralización de la matriz extracelular, seguida de la migración desde los vasos de osteoclastos que degradarán la matriz cartilaginosa calcificada, lo que vendrá seguido por el depósito de tejido óseo por parte de los osteoblastos (Zachary y McGavin, 2012; Chiego 2010, Nanci 2013).

Este tipo de osificación se encuentra en la práctica totalidad de los huesos de origen somítico, los huesos largos del sistema locomotor. En el cráneo, la osificación endocondral es la que da lugar a las estructuras del basicráneo, aunque se encuentra asimismo en algunas estructuras viscerocraneales, como es el caso de los cartílagos secundarios de la mandíbula (Di Leva et al, 2013).

2.1.3.2. Osificación membranosa.

Esta osificación se produce en ausencia de un modelo óseo cartilaginoso precedente (Zachary y McGavin, 2012, Bailleul et al. 2015). Este mecanismo se encuentra en la osificación de las diáfisis de los huesos largos, y es la característica de los huesos de la bóveda craneana y del viscerocráneo (Manzanares et al, 1988; Dhem et al, 1989).

En la osificación membranosa, las células indiferenciadas embrionarias se diferencian para formar un tejido calcificado transitorio, el tejido condroide, que luego será sustituido por el tejido óseo (Goret-Nicaise et al, 1988). El tejido condroide, que en una reciente publicación ha sido descrito por Bailleul et al (Bailleul et al. 2015) como el “antes denominado hueso condroide” está implicado en numerosos procesos en los que el hueso debe responder con una rápida regeneración, entre los que se cuentan la fusión de la sínfisis mentoniana (Goret-Nicaise, 1986; Goret-Nicaise et al., 1988), la de la sutura metópica (Manzanares et al, 1988), la erupción dentaria (Pilipili et al, 1998), la reparación de las fracturas en huesos largos (Franch et al 1998) y muy recientemente la osteointegración de diversos biomateriales (Cuzmar et al, 2015).

2.1.4. Remodelado óseo.

El RO se produce en lugares concretos llamados compartimentos de RO, que están compuestos por una cohorte funcional de células que actúan de forma coordinada, denominada unidad multicelular básica y que contiene OC, OB, OS, células de la superficie ósea («lining») y células de los capilares de soporte (Feng y McDonald 2011). Es el resultado de destrucción del hueso (resorción) y su posterior formación. El RO se puede dividir en las siguientes 5 fases (Eriksen 1986):

- Fase quiescente. El hueso está en reposo.
- Fase de activación. Se retraen las células limitantes (OB maduros elongados en la superficie endóstica) y las colagenasas digieren la membrana endóstica. La superficie mineralizada expuesta atrae a los OC que están circulando por los vasos sanguíneos cercanos.
- Fase de reabsorción. Los OC disuelven la matriz mineral y descomponen el material osteoide. Los macrófagos ayudan a reabsorber y facilitan la liberación de factores de crecimiento contenidos en el material osteoide.
- Fase de formación. En la zona reabsorbida acuden los preosteoblastos, atraídos por los factores de crecimiento, que sintetizan una sustancia cementante sobre la cual se adherirá nuevo tejido y que expresa BMPs, responsables de la diferenciación. Una vez los preosteoblastos se diferencian en OB, se empieza a sintetizar sustancia osteoide que recubrirá las zonas que han sufrido resorción.
- Fase de mineralización. Tras 30 días del depósito del material osteoide se inicia la mineralización, que finalizará en hueso cortical o hueso trabecular.

2.1.4.1. Funciones del fenómeno del RO.

Las principales funciones son las siguientes (Baron 2008):

- Mantenimiento y adaptación de las características mecánicas del hueso.
- Atender a los requerimientos de la homeostasis mineral.
- Regulación del equilibrio ácido-base, como fuente de bicarbonato.
- Liberación de factores de crecimiento y citoquinas para el correcto funcionamiento de la médula ósea.

2.1.4.2. Regulación del RO.

La regulación del RO está modulada por factores humorales y mecánicos. Son lo que se encargan de la activación de los OC y del

acoplamiento de los OB al cese de actividad de los OC (Fernández-Tresguerres-Hernández-Gil et al. 2006).

a. Factores hormonales.

- Paratohormona o PTH y la vitamina D. Estimula de manera crónica la resorción ósea manteniendo constante la calcemia sérica.
- Calcitonina. Inhibe la resorción ósea temporalmente produciendo una contracción de la membrana del OC. Provoca la disolución de los OC células mononucleadas e inhibe las células precursoras de los OC.
- La tiroxina y la hormona de crecimiento y la insulina estimulan el RO.
- Hormonas sexuales (andrógenos y estrógenos), los glucocorticoides y la leptina inhiben el RO.

b. Factores autocrinos y paracrinos.

Como estimuladores de la osteoclastogénesis se encuentra:

- Citoquinas (Interleuquinas - IL). Polipéptidos que se sintetizan en células linfocíticas y monocíticas.
 - IL-1. Estimula la proliferación y diferenciación de los preosteoclastos e inhibe la apoptosis de los OC.
 - IL-6. Estimula las fases iniciales de la osteoclastogénesis.
 - IL-11 y las prostaglandinas. Favorece la osteoclastogénesis.
- Factor de necrosis tumoral (TNF). Estimula la reabsorción.
- Factor estimulador de colonias de monocitos-macrófagos (M-CSF). Producido por los OB y células del estroma medular son importantes en el linaje osteoclástico para formar células gigantes multinucleadas.
- Factor inhibidor de la leucemia (LIF). Regula la proliferación y la diferenciación implicadas en la remodelación ósea.

Como estimuladores de la osteoblastogénesis se encuentran:

- Factor transformante- β (TGF- β). Potencia la diferenciación osteoblástica y la síntesis de matriz osteoide. A su vez, inhibe la formación y diferenciación de los OC.
- BMP del hueso. Tal y como se comentó anteriormente, estas proteínas se consideran osteoinductivas ya que transforman el tejido conjuntivo en tejido óseo.
- Factor de crecimiento fibroblástico.
- Factor de crecimiento derivado de las plaquetas (PDGF). Favorece la proliferación de fibroblastos, células musculares lisas, de neurovascularización y estimula la síntesis proteica de los OB.

- Factores de crecimiento similares a la insulina (IGF-I e IGF-II). Los osteoides presentan una gran concentración de estos análogos de la insulina que se sintetizan en el hígado y por los OB. Aumentan su producción gracias a la hormona de crecimiento, los estrógenos y a la progesterona y se inhibe por la progesterona. Pueden tener un efecto estimulador o inhibidor de formación ósea (Hill et al. 1995).
- M-CSF. Producido por los OB y las células del estroma medular. Se trata de una molécula esencial para promover la osteoclastogénesis y su acción está mediada en parte por un incremento el número de receptores RANK de los precursores de los OC, lo que los sensibiliza a la acción de OPGL/RANKL (Teitelbaumn 2000).

c. Sistema RANK-RANKL-OPG .

- Osteoprotegerina-receptor activador de $\text{NF}\kappa\text{B}$ ligand (OPGL/RANKL). Se trata de una proteína de membrana tipo II (de la familia del TNF) que se une al receptor activador del TNF (RANK), un receptor transmembrana de tipo I. La unión OPGL/RANKL a RANK activa vías de transducción intracelular de señales que actúan a su vez como receptor señuelo de OPGL/RANKL y que a su vez es antagonista de RANK. Cuando se une OPGL/RANKL a la osteoprotegerina (OPG) se bloquea la acción de OPGL/RANKL (Simonet et al. 1997).
- OPGL/RANKL. Estimula la diferenciación y actividad de los OC y evita su muerte por apoptosis. La osteoclastogénesis depende del equilibrio entre la producción local de OPGL/RANKL de membrana por los OB y células del estroma y la presencia de su antagonista, OPG soluble (Teitelbaumn 2000).

d. Factores mecánicos.

El trabeculado óseo se estructura en función de las necesidades físicas de máxima tracción y presión y los OS pueden actuar como mediadores en la promoción de la actividad osteoblástica. Sin embargo, el reposo puede tener un efecto de reabsorción (Morey y Baylink 1978).

2.1.4.4. Importancia del RO en ortopedia maxilofacial.

El RO juega un papel importante para el ortodoncista, ya que en los casos en que existe un hábito inadecuado, alteraciones funcionales o bien interferencias, se cumple la Ley de Wolff (Tobin 1968) que menciona que el hueso recién formado se debe adaptar a los estímulos mecánicos que actúan sobre él, dando lugar a discrepancias intermaxilares. Sin embargo, una vez establecido el problema, dicho RO se utilizará como mecanismo de reparación

en caso de fracturas, proceso que se da en el caso de expansiones rápidas de las suturas palatinas del maxilar y de las suturas circummaxilares.

2.1.5. Complejo nasomaxilarmalar.

Como parte del cráneo, su crecimiento es muy diferenciado y ocurren en diferentes estadios y con diferentes direcciones. Su osificación es intramembranosa a partir del mesénquima de células de la cresta neural de prominencias embriológicas faciales, con excepción del hueso malar y etmoides, que pueden ser de origen endocondral.

2.1.5.1. Crecimiento y dirección del desarrollo.

En la semana 4 tras la concepción se forman 5 arcos faríngeos de forma tubular redondeada que están ligados por hendiduras y surcos. Se desarrollan lateralmente a la vesícula cerebral posterior y quedan comprendidos ventralmente entre la prominencia cefálica anterior y la prominencia cardíaca. Los dos primeros se denominan arco mandibular e hioideo (región media e inferior de la cara) y el tercero contribuye a la formación de la base de la lengua (Abramovich 1999). Por lo tanto, del primer arco faríngeo se desarrollara la prominencia maxilar. Las estructuras de la cara se originan con la invaginación de la cara ectodérmica superficial que está situada por debajo del pro-encéfalo, y a medida que la fosa se profundiza se forma el contorno de la cavidad bucal, el estomodeo (Figura 2.3.A.). Durante la 4 semana entra en contacto la lámina bucal ectodérmica con el revestimiento endodérmico del intestino y se consigue una continuidad entre la cavidad bucal y el tracto gastrointestinal.

Durante la semana 5 se desarrollan los procesos nasales laterales y mediales (Figura 2.3.B). Este último crece caudalmente y se une al proceso anterior y medio del maxilar, dando lugar al paladar primitivo. Durante esta semana se comunica la cavidad nasal y la bucal, teniendo este techo de la boca primitiva una forma de herradura.

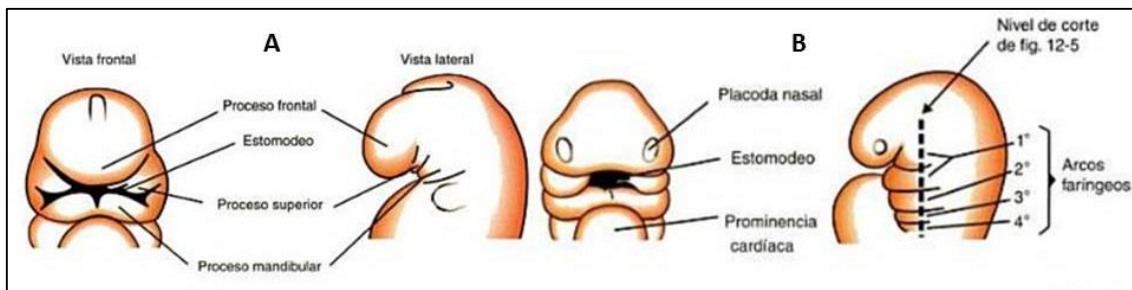


Figura 2.3. A. Invaginación de la cavidad oral primitiva (estomodeo). B. Desarrollo del proceso frontonasal medio y lateral.

Fuente: T. W. Sadler, Langman. Fundamentos de embriología médica con orientación clínica. 1ª ed. Buenos Aires: Ed. Médica Panamericana; 2006.

Durante la semana 7 se forman las repisas palatales, que son dos dobleces tisulares que se forman a partir de los procesos maxilares y con un crecimiento vertical (a cada lado de la lengua) desde el paladar primario que dará lugar a la región tonsilar posterior. En la semana 8 la mandíbula crece tanto que la lengua cae y las repisas palatales adquieren una disposición horizontal sobre la lengua, de manera que al encontrarse la una con la otra originan el paladar secundario (Figura 2.4.) (Meike 2002).

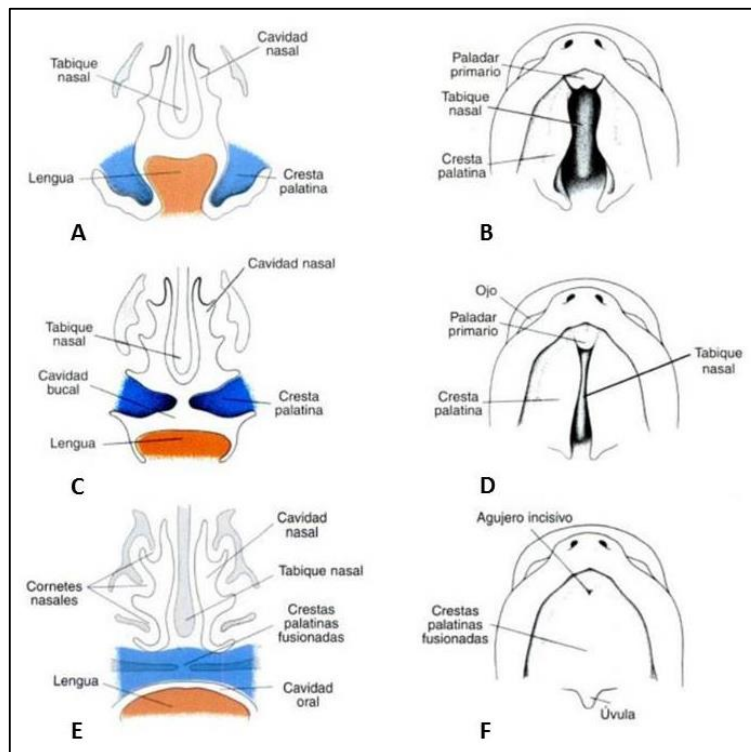


Figura 2.4. AB. Crecimiento vertical del tabique nasal en la línea media y las crestas palatinas alrededor de la lengua. El tabique primario, crestas palatinas y tabique nasal no están articulados. CD. La lengua adquiere una posición baja y las crestas palatinas siguen osificándose horizontalmente y aproximándose mientras que el tabique sigue su desarrollo. EF. Crestas palatinas articuladas con huesos palatinos y vómer y paladar primario (dando lugar al agujero incisivo).

Fuente: Aldo R. Eynard, Mirta A. Valentich, Roberto A. Rovasio. Histología y embriología del ser humano: bases celulares y moleculares. 4a. ed. Buenos Aires: Ed. Médica Panamericana; 2008.

A partir de la semana 8 los huesos del complejo nasomaxilomalar se desarrollan de la siguiente manera:

- Maxilar (originado a partir de la prominencia maxilar). Por encima de la lámina dental se encuentra el principal centro de osificación, que forma los caninos deciduos. Cerca se encuentra el nervio infraorbitario que da lugar a la rama dental superior anterior y se denomina osificación infraorbitaria. Posteriormente se osifica los huesos palatinos en relación

a los nervios palatinos. A su vez se fusiona las dos partes del paladar blando y se inicia la osificación del hueso vómer (Kjaer 1992).

- Huesos palatinos. Se desarrollan a partir de la semana 8 a partir del mesénquima miogénico proveniente del primer y segundo arco faríngeo y por lo tanto del proceso maxilar (Meike 2002). A partir de la 10 semana se inicia su osificación de manera lateral al cartílago de la cápsula nasal y en relación directa con la rama esfenopalatina del nervio maxilar dando lugar a la lámina vertical y a los procesos palatinos.
- Huesos nasales. Se originan en el proceso frontonasal y nasal medio con osificación intramembranosa, simultáneamente a la formación del paladar secundario, formando un tabique en la línea media que crece caudalmente desde el techo de la cavidad nasal para fusionarse con la superficie superior del paladar primario y secundario (Meike 2002).
- Senos paranasales. Su neumatización primaria se inicia a partir de la expansión de la membrana mucosa del meato nasal medio y superior y del receso esfenoidal. (semana 10 – mes 5 de vida intrauterina) (William 1995).
- Hueso vómer. Su centro de osificación intramembranosa aparece tras el cierre de las prolongaciones del tejido blando y se origina alrededor del nervio nasopalatino que a medida que se osifica se articula con la sutura media palatina y el tabique nasal hasta que se articula con el hueso esfenoides. (Kjaer 1992)
- Hueso malar. Originado a partir de la prominencia maxilar a partir de la semana 9 (Meike 2002).
- Hueso etmoides. A partir de la semana 10 del proceso frontonasal (Meike 2002).
- Hueso lagrimal. A partir de la semana 12 del proceso frontonasal y nasal lateral dando lugar a los huesos más frágiles del cráneo (Meike 2002).

Sin tener en cuenta la diversidad de los patrones de crecimiento, se puede decir que en general el crecimiento maxilar se produce en sentido antero-inferior, produciéndose un desplazamiento de los maxilares por aposición de tejido óseo en la zona posterior en las tuberosidades y en las suturas circumaxilares. La base alveolar se elonga verticalmente para facilitar la erupción de los dientes (Björk 1995). La premaxila y el contorno anterior del proceso cigomático mantienen una posición estable respecto al cuerpo maxilar. La cavidad nasal se expande por la separación de los cuerpos maxilares en la sutura media, y por la reabsorción ósea y desplazamiento de las paredes laterales de la cavidad nasal. Farkas et al. estudiaron a 1594 norteamericanos caucásicos entre 1 y 18 años. Observaron que al finalizar el primer año de edad el ancho mandibular representaba el 80.2% del tamaño adulto y que la altura facial representaba el 66.6%. Entre 1 y 5 años el desarrollo mandibular fue significativo, mientras que la parte media y superior del rostro fue

madurando progresivamente hasta los 12-15 años de edad en varones y 2 años antes en las hembras (Farkas et al. 1992).

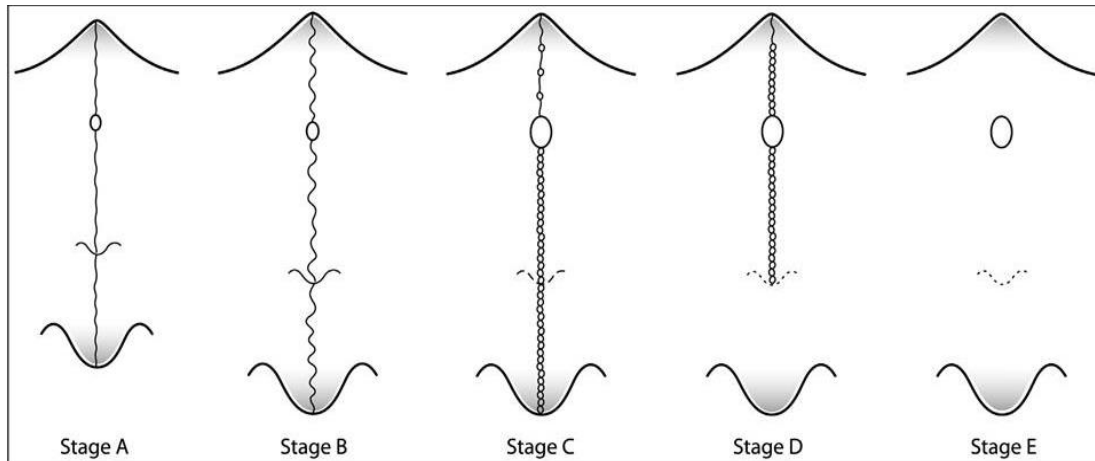
2.1.5.2. Tipos de suturas.

El proceso de osificación de la sutura maxilar mediopalatina se inicia con la formación de espículas óseas de los márgenes junto con masas de tejido óseo acelular y de tejido calcificado inconsistente, denominado islas, situadas en el espacio intrasutura (Person 1978). La concentración de espículas aumentan con la madurez y la zona de la sutura adquiere unas estructuras anatómicas festoneadas que están cercas unas de otras y separadas en ciertas zonas por tejido conectivo (Wehrbein y Yildizhan 2001). La interdigitación de las dos partes palatinas va aumentando hasta que en edades más avanzadas se produce una fusión de los tejidos óseos que empieza en la zona posterior de la sutura y que va progresando hacia delante. Se produce una resorción del hueso cortical de la zona más distal de los hemimaxilares y se forma hueso de tipo esponjoso (Sun et al. 2004).

Sin embargo, la variabilidad en el desarrollo de los estadios de fusión de la sutura maxilar mediopalatina no están directamente desarrollados con la edad cronológica, especialmente en los adultos jóvenes (Wehrbein y Yildizhan 2001, Knaup et al 2004).

Tal es la variabilidad que autores han propuesto una clasificación que describe los estadios de maduración de la sutura maxilar mediopalatina (Angelieri et al. 2013): Figura 2.5.

- Estadio A. La sutura media palatina presenta una línea recta sutural de alta densidad sin o con poca interdigitación.
- Estadio B. La línea de sutura presenta formas irregulares y aparece como una línea de alta densidad festoneada. En este estadio se puede observar en ocasiones áreas en donde 2 líneas festoneadas están paralelas y separadas por espacios de baja densidad.
- Estadio C. La sutura medio palatina aparece como 2 líneas de alta densidad festoneadas una en frente de la otra y separadas por un espacio entre ambas de baja densidad. Discurre desde el foramen interincisivo hasta la parte posterior de la sutura maxilopalatina. La línea puede ser recta o bien presentar irregularidades.
- Estadio D. Presenta fusión de la sutura media palatina en el área del hueso palatino, con maduración progresiva de la zona posterior a la zona anterior. En la zona parasutural del hueso palatino ahora fusionado, se observa hueso de alta densidad si se compara con el hueso parasutural del hueso maxilar. La sutura entre los huesos maxilares presentan aún 2 líneas paralelas de alta densidad separadas por espacio de baja densidad.
- Estadio E. Fusión en toda la zona del maxilar existiendo una densidad ósea en toda la zona media.



- **Figura 2.5. Estadios de maduración de la sutura maxilar y palatina.**
- **Fuente: Angelieri F, Cevidanes LH, Franchi L, Gonçalves JR, Benavides E, McNamara JA Jr. Midpalatal suture maturation: classification method for individual assessment before rapid maxillary expansion. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2013; 144: 759-69.**

Intervenciones

2.2.1. Corrección de la Mordida Cruzada Posterior (MCP).

Para poder comprender el tratamiento a realizar se va a definir previamente la anomalía MCP y el criterio de diagnóstico, el cual incluye las pruebas de diagnóstico y las causas que provocan la maloclusión, con el fin de diferenciar los diferentes tipos de tratamiento.

2.2.1.1. Definición de la MCP.

Al analizar anomalías transversales entre los maxilares en el plano frontal se puede encontrar diferentes expresiones clínicas. En todas ellas se refleja que no existe un correcto resalte positivo, es decir, no se produce un desbordamiento normal de los dientes superiores por fuera de los inferiores. El caso más común de estas anomalías es la mordida cruzada posterior, en la que dicho resalte es negativo y en donde las cúspides palatinas de los premolares y molares superiores ocluyen en las fosas de los premolares y molares inferiores. Se trata de una anomalía y no de una enfermedad.

a. Justificación de tratamiento precoz.

Desde el 9,3% que reporta el estudio de Iglesias et al. realizado en Galicia hasta el 18,6% que se halló en una población de Catalunya estudiada por García y Ustrell, existe una gran variedad de frecuencias, siendo incluso superiores. Estos datos son similares en denticiones temporales, mixtas y permanentes, ya que este tipo de maloclusión no suele corregirse de manera

espontánea tal y como concluye en su estudio Perillo et al. (Iglesias 2003, Garcia y Ustrell 2012, Perillo et al. 2010).

En el International Classification of Diseases (ICD 2013) elaborado por la Organización Mundial de la Salud se clasifica como una anomalía de las relaciones entre la arcada superior e inferior. Pero esta anomalía, y no enfermedad, genera controversia, ya que existen estudios como los Savakkanavar et al. y Tecco y Festa que demuestran con datos estadísticamente significativos que puede causar patologías en la articulación temporomandibular (Savakkanavar et al. 2012, Tecco y Festa 2010), y existen otros autores, entre ellos Manfredini et al. que no encuentran ninguna relación inferencial y por lo tanto no pueden relacionar la anomalía a la patología (Manfredini 2013).

Pero ajenos a dicha controversia queda patente algunas de las consecuencias que puede causar una mordida cruzada, entre las cuales frecuentan las siguientes:

- Aumento en longitud de la rama mandibular.
- Engrosamiento y expansión del cuerpo mandibular.
- Avance y aumento transversal del maxilar en el lado de trabajo.
- Cambio en la angulación de los procesos dentoalveolares.
- Comportamientos musculares atípicos.
- Desviación hacia el lado de trabajo del bloque interincisivo del maxilar y línea media mandibular por presión y empuje del hemimaxilar contralateral.
- Asimetría condilar.

Su alta frecuencia en la población, su poca capacidad de autocorrección y las anomalías subsecuentes que puede causar, independientemente de si produce patología secundaria o no, aconsejan tratar las anomalías transversales precozmente.

2.2.1.2. Causas.

En el estudio clínico se debe tratar mediante la historia clínica y la exploración clínica, de recabar la información referida por los tutores o bien por los propios pacientes y hallar los signos claves de dicha anomalía.

a. Factores genéticos

La genética heredada del paciente juega un papel importante en el desarrollo de los maxilares resultando en diferentes anomalías clínicas:

- Hipoplasia maxilar. Existe una falta de desarrollo que se expresa como una compresión basal transversal del maxilar. En ocasiones se puede

acompañar con apiñamiento de la arcada superior o bien con una protusión dentaria asociada a una relación de Clase II según Angle.

- Hiperplasia mandibular. Exceso de desarrollo mandibular que puede presentarse en el plano transversal y en el plano antero-posterior.
- Hipoplasia maxilar e hiperplasia mandibular. Su expresión clínica es una alteración tanto transversal como sagital denominada Clase III, según Angle, de causa esquelética.
- Hiperplasia maxilar e hipoplasia mandibular. Se denomina Síndrome de Brodie cuando existe una combinación de exceso de desarrollo maxilar transversal y una mandíbula micrognática, dando como resultado una mordida en tijera unilateral o bilateral.
- Asimetría del maxilar o de la mandíbula. Existe un crecimiento asimétrico del cóndilo, cuello de cóndilo, cuerpo mandibular y de la región alveolo-dentaria.
- Síndromes. Los siguientes síndromes suelen cursar con mordida cruzada; Treacher Collins, complejo de Robin, acondroplasia, disostosis craneofacial de Nager, síndrome de Wildervanck-Smith, microsomía hemifacial, hipertrofia hemifacial congénita, neurofibromatosis, síndrome de Turner, síndrome de Romberg y craneosinostosis.

b. Hábitos inadecuados.

Cuando se trata a niños y a adolescentes se les debe preguntar a los padres y a los propios niños si respiran por la boca, si se chupan el dedo, o si tienen algún hábito a la hora de tragar. Se debe investigar el inicio del hábito y cuantas horas aproximadamente lo realiza. En el caso del paciente adulto se debe preguntar si existió y si todavía permanece esta práctica.

El motivo por el cual estos hábitos suelen estar asociados a mordida cruzada posterior es por la adquisición de una posición baja de la lengua y una hiperactividad de los músculos buccinadores. En consecuencia se produce una disminución de la presión intraoral del aire durante el periodo de deglución.

Respiración oral. Desaparece el equilibrio muscular que existe en la musculatura de la cavidad oral. Al colocarse la lengua en una posición baja para que entre el aire, se elimina la presión excéntrica que produce ésta y por lo tanto predomina la musculatura de los buccinadores, es decir, una presión concéntrica que comprime al sector lateral y posterior de la arcada superior. A nivel clínico, se puede apreciar en estos pacientes apertura bucal permanente por hipotonicidad labial, un crecimiento transversal mandibular, elevación de la bóveda palatina, protusión de los incisivos, debilidad de la musculatura facial con aumento del tercio inferior de la cara y retrusión del mentón, posterotación mandibular y labio superior corto e inferior más grueso. Se ha definido a estos signos junto a la compresión del maxilar como los rasgos clínicos del aspecto o

síndrome de cara larga o facies adenoidea (Linder-Aronson 1970). Existen autores como que demuestran a través de sus estudios una relación causa-efecto (Schlenker et al. 2000). García y Ustrell han encontrado que el 25.4% de la población que cursa con respiración oral presentan mordida cruzada posterior (García y Ustrell 2012). En la figura 2.6 se puede apreciar un esquema de cómo afecta la musculatura oral a la dentición en función del tipo de respiración.

En el esquema A de la figura 2.6 se aprecia normooclusión transversal con una respiración nasal, mientras que en el esquema B se aprecia mordida cruzada bilateral adquirida por una respiración oral.

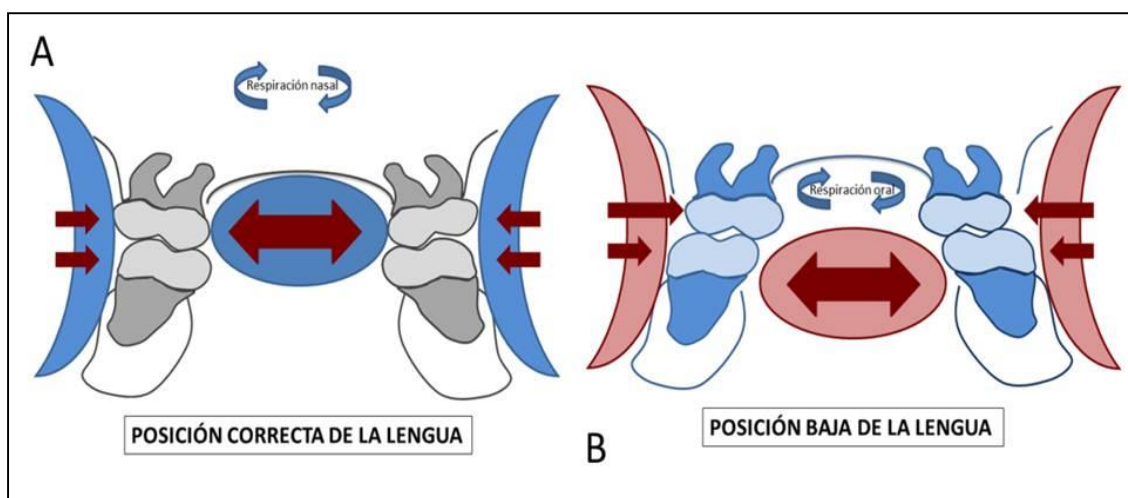


Figura 2.6. Comportamiento de la musculatura con la respiración oral A y nasal B. Alteraciones funcionales.

Succión digital. Puede ser como consecuencia de ciertas conductas regresivas frente a trastornos emocionales por inseguridad o bien por llamar la atención. El mecanismo de acción es el mismo, posición baja de la lengua y compresión del buccinador que inhibe el crecimiento del maxilar. Además en clínica se puede añadir a este hábito la mordida abierta anterior, protrusión de incisivos superiores y retrusión de los inferiores, extrusión de molares, prognatismo maxilar y plano palatino rotado en sentido anti-horario (Camps et al. 2001).

Ejercitador o chupete. La clínica es similar a la succión digital. Cuando el hábito se prolonga hasta el inicio de la dentición definitiva se produce una alteración de los dientes y aparece una mordida abierta anterior. Junto a la compresión del maxilar se produce la protrusión de este.

La repercusión dental de dichos hábitos inadecuados puede apreciarse en la figura 2.7.

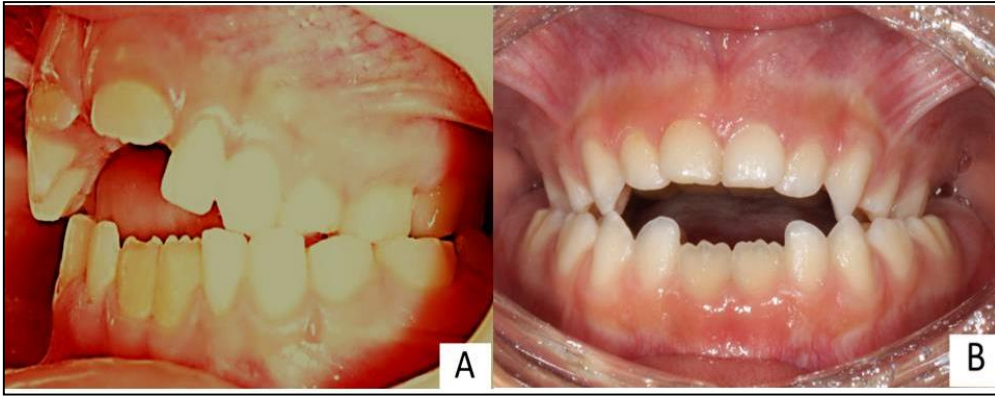


Figura 2.7 Hábitos inadecuados. A Compresión maxilar provocada por succión digital. B Mordida abierta y mordida cruzada bilateral asociada a un uso prolongado del chupete.

c. Alteraciones funcionales.

Existen limitaciones o bien alteraciones de la función con repercusión en la cavidad oral que puede influir indirectamente en la aparición de problemas transversales.

Hipertrofia amigdalар. Además de protuir la lengua a una posición más avanzada obliga al paciente a mantener una respiración oral. Dando pie a toda la clínica comentada anteriormente. Figura 2.8. A-B.

Limitación del frenillo lingual. La limitación de la movilidad lingual con valores de 3 a 5 según la clasificación de Duran y Ustrell produce un movimiento de protusión durante la deglución (Duran y Ustrell 2003). El mecanismo por el cual aparece la mordida cruzada posterior es la posición baja de la lengua. También cabe decir que esta posición de la lengua suele combinarse con una mordida cruzada anterior tal y como demuestra la relación estadísticamente significativa que encontraron García y Ustrell en su estudio (García y Ustrell 2012). En la figura 2.8. C-D se observa que el paciente presenta una clase III, según Angle, y una compresión maxilar con una inclinación lingual del sector lateral y posterior.

d. Traumatismos e interferencias oclusales.

Según Pirttiniemi, en periodo de crecimiento existe la posibilidad que un traumatismo a nivel mandibular pueda ocasionar una desviación mandibular debido a la fractura de uno de sus cóndilos (Pirttiniemi 1994). Es importante en pacientes adolescentes o ya adultos una anamnesis correcta, ya que la recuperación de dicha fractura suele ser a consecuencia de la anquilosis desarrollada en la región temporomandibular debido a que se produce una hemorragia y un hematoma intraarticular (Ngan y Fields 1995). En la figura 2.9 se documenta una desviación mandibular con mordida cruzada lateral 9 meses después de haber sufrido un traumatismo craneal por accidente con automóvil.

Obsérvese como los dientes compensan su inclinación en el proceso dentoalveolar para aumentar la eficacia masticatoria, aunque el canino inferior izquierdo se encuentra en mordida cruzada. En la ortopantomografía puede valorarse la asimetría condilar.

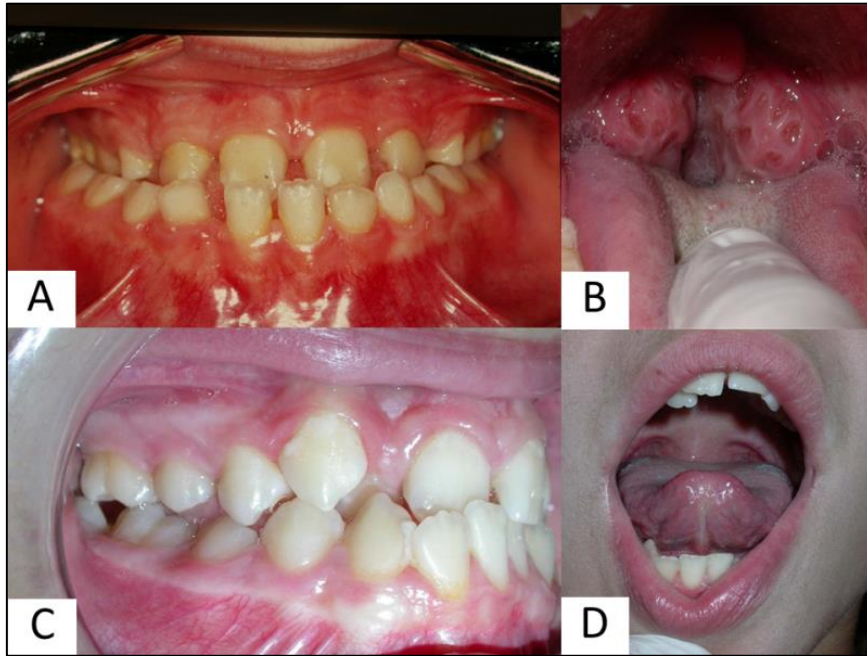


Figura 2.8. Alteraciones funcionales. A-B Mordida cruzada unilateral y anterior asociada a hipertrofia amigdalar. C-D Compensación dento-alveolar del cuarto cuadrante y mordida cruzada anterior en un paciente con limitación de la movilidad lingual.

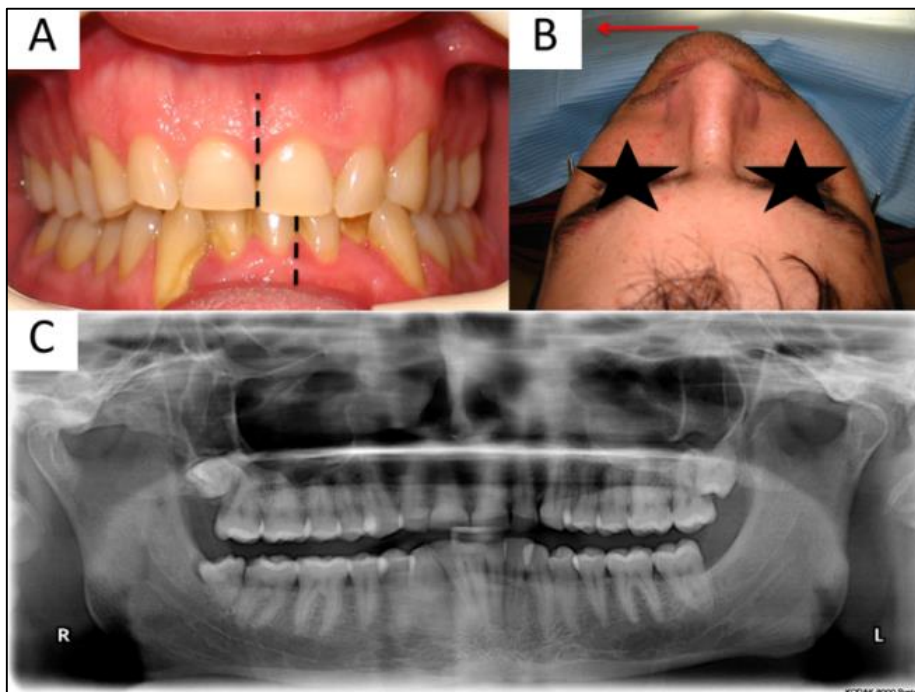


Figura 2.9. A Fotografía intraoral. B Fotografía extraoral en donde se aprecia la desviación mandibular. C Ortopantomografía.

En cuanto a interferencias oclusales se puede apreciar que en maxilares comprimidos se produce una intercuspidad incorrecta y para evitarla la mandíbula se desplaza lateralmente.

2.2.1.3. Clasificación.

Para poder nombrar a una anomalía transversal es importante el estudio clínico. Ello determinará junto con el estudio fotográfico, radiológico y las pruebas complementarias, el tipo de maloclusión, diferenciando la posición en la que se analiza y las estructuras implicadas. Una vez se realiza la inspección ocular y la palpación ya se puede definir.

Inspección ocular.

Análisis facial. Con el paciente sentado y el clínico frente a él, se procede al análisis extrabucal. Se debe valorar:

- Simetría facial. Tanto esqueléticas como del tejido blando.
- Movimientos musculares y de la mandíbula. Ya se habrá tomado nota en la anamnesis mientras el paciente no sabe que se le está analizando. En este paso se debe intentar reproducir los movimientos que hayan generado sospecha. Se deberá valorar la posición de la mandíbula en reposo y mientras habla.

Análisis intrabucal. El paciente estará sentado y el clínico detrás. La iluminación será la correcta y es conveniente utilizar un par de espejos de exploración. Se buscará:

- Compensaciones.
- Anomalías de tejidos blandos. Se deberá valorar la movilidad lingual, el tamaño de la lengua, si esta presenta indentaciones, el grado de hipertrofia de las amígdalas y si existe rasgos de hiperactividad muscular, como puede ser las improntas que dejan los dientes sobre las mejillas, denominada línea alba.
- Dientes. Su forma y posición respecto al proceso dentoalveolar.

A continuación se hace cerrar al paciente en máxima intercuspidad y se puede detectar las siguientes relaciones intermaxilares:

- Oclusión cúspide-fosa. Figura 2.10 A-C.
 - Mordida Cruzada Unilateral. Las cúspides vestibulares de los premolares y molares superiores de uno de los lados del maxilar ocluyen en las fosas de los premolares y molares inferiores. Puede existir desviación mandibular.

- Mordida Cruzada Bilateral. Cuando son las cúspides vestibulares de los premolares y molares superiores de las dos hemiarquadas del maxilar que ocluyen en las fosas de los premolares y molares inferiores. No suele existir desviación mandibular.
- Mordida Cruzada Oculta. Cuando las cúspides palatinas de los premolares y molares superiores de las dos hemiarquadas del maxilar ocluyen en las fosas de los premolares y molares inferiores. Existe una compensación dentoalveolar de ambos maxilares y se combina con déficit de amplitud maxilar o bien por una posición retruida de la mandíbula.
- No oclusión cúspide-fosa. Figura 2.10 D-E.
 - Mordida Cruzada Completa lingual. Las caras palatinas de los molares y premolares superiores contactan con las caras vestibulares de los dientes inferiores.
 - Mordida Cruzada Completa Vestibular. Las caras vestibulares de los molares y premolares superiores contactan con las caras linguales de los dientes inferiores.
- Oclusión cúspide-cúspide: Figura 2.10 F.
 - Mordida Incompleta o Borde a Borde. Las cúspides vestibulares superiores contactan con las cúspides vestibulares inferiores y las cúspides palatinas superiores contactan con las cúspides linguales inferiores.

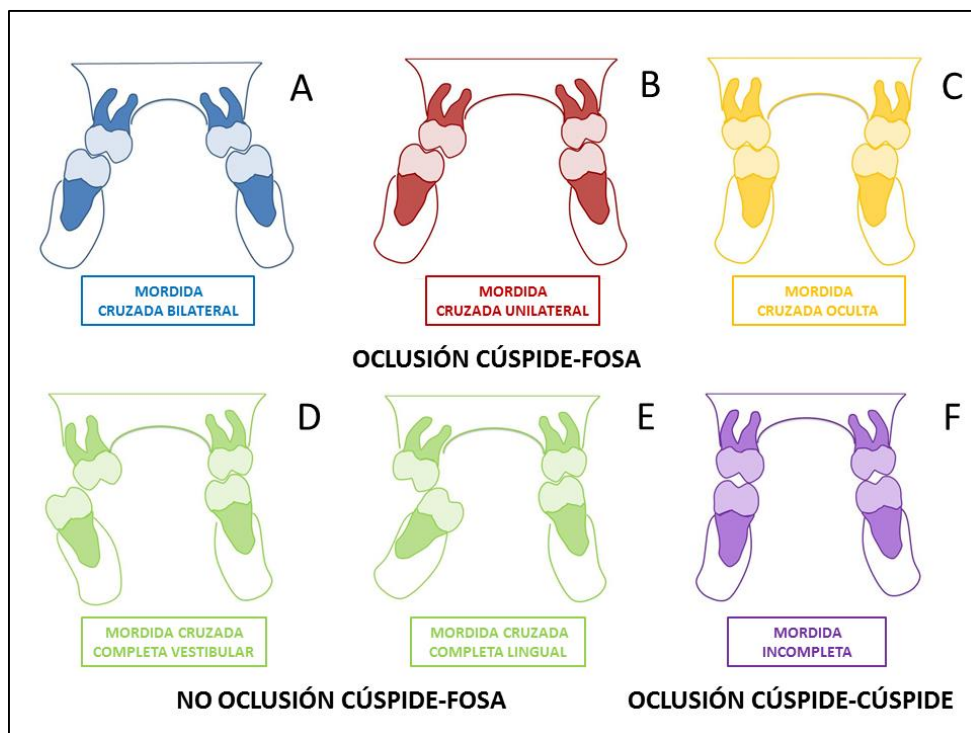


Figura 2-10. Relaciones interarcadas de las anomalías transversales en el plano transversal.

Palpación manual.

Es ahora cuando reclinamos al paciente y se sitúa el clínico en la posición en la que se esté más acostumbrado a posicionar la mandíbula del paciente en relación céntrica (RC). Una vez el paciente está en RC se puede dar dos situaciones:

- Situación 1. Coincide el punto medio mandibular con la línea media facial
 - En las mordidas cruzadas bilaterales, incompletas, ocultas y completas aun estando la mandíbula centrada se debe asegurar que en RC ésta persiste independientemente de las líneas medias interincisivas, ya que pueden estar desviadas por una causa dentaria. Si existe mordida cruzada unilateral con desviación mandibular y en RC se centra, el primer punto de contacto dental entre las dos arcadas indicará el punto en el que empieza la interferencia u obstáculo.
- Situación 2. No coincide el punto medio mandibular con la línea media facial.
 - Si se tiene dudas en conseguir la RC del paciente se debe utilizar medios para conseguirla (jigg de Lucía). Aunque es poco frecuente, se deberá valorar si existe asimetría del mentón, ya que enmascararía la desviación mandibular.

Martín et al. han realizaron un estudio en el que se valoró que durante el cierre de la mandíbula en pacientes con mordida cruzada con desviación mandibular existe asimetría muscular (Martin et al. 2000). Además:

- En reposo el temporal posterior contralateral a la mordida cruzada es más activo que el homolateral.
- En máxima intercuspidad el ratio de actividad muscular masetero/temporal están invertidos, existiendo un predominio de la actividad de los temporales anteriores frente a la de los maseteros. Estos dos músculos presentan mayor actividad en el lado contrario a la mordida cruzada.

Por lo tanto, al buscar la RC se puede palpar los músculos más externos y valorar la tensión que ofrecen al centrar la mandíbula.

Con el paciente en RC se volverá a analizar clínicamente como está la relación intermaxilar pudiendo ser:

- De Mordida Cruzada Unilateral a Bilateral. Figura 2.11.
 - Desaparece la mordida cruzada unilateral y se transforma en parcialmente bilateral.

- Se centran las líneas medias superior e inferior (descartar posibles desviaciones dentarias).
- La relación sagital entre el maxilar superior e inferior pasa a ser simétrica en los dos lados. Se puede dar las siguiente situaciones:
 - De Clase I en lado de no trabajo y Clase II en el lado cruzado o de trabajo se pasa a Clase I ó III en lado no trabajo y Clase I en el lado de trabajo.
- Mordida Cúspide a Cúspide. Similar a la anterior pero la corrección es casi completa.
- Mordida Cruzada Unilateral. Persiste la desviación y no mejora en RC.
- Mordida Cruzada Bilateral. Persiste la situación 1.
- Mordida Cruzada completa. El paciente de una mordida en máxima intercuspidadación con contacto oclusal para favorecer la masticación pasa a mordida en tijera unilateral o bilateral quedando patente la gran compensación dentoalveolar o el gran déficit esquelético.

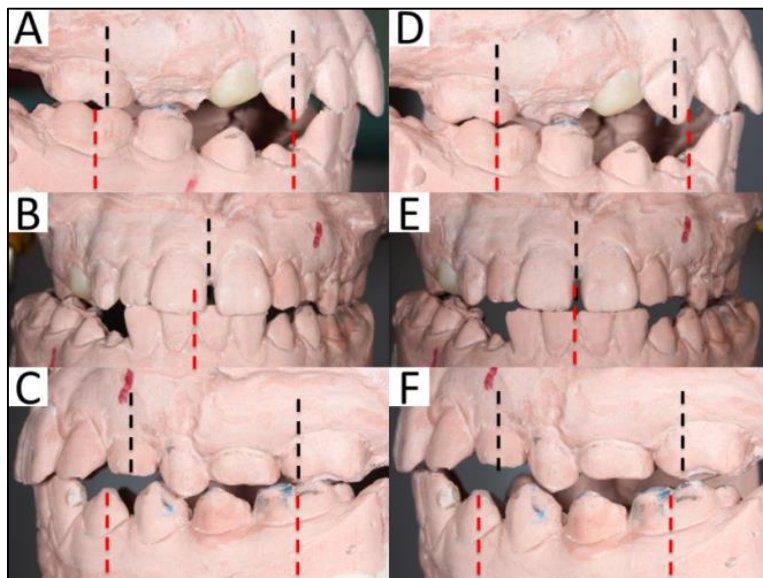


Figura 2.11 Cambios oclusales interarcadas al pasar de mordida cruzada de causa funcional a mordida cruzada bilateral. 6 A Clase II Canina y Molar. 6 B líneas medias interincisivas no centradas. 6 C Clase I Canina y Molar. 6 D Clase I Canina y Molar. 6 E Líneas medias interincisvas centradas. 6 F Clase I Canina y I-III Molar

Acto seguido, con el paciente en RC se marcarán los siguientes objetivos:

Objetivo 1. Cuando exista desviación mandibular se debe realizar un diagnóstico diferencial entre desviación funcional por existencia de un obstáculo (**situación 1**) y desviación por asimetría mandibular en la que aun consiguiendo RC no se centra la mandíbula (**situación 2**). Con ello se diferenciará las desviaciones mandibulares reversibles (niños en los que todavía no se ha modificado la dirección de crecimiento condilar y adultos que

han recibido un traumatismo reciente o bien un movimiento dentario indeseado reciente) de las desviaciones mandibulares irreversibles de manera espontánea. Dichos hallazgos se complementaran con la exploración radiográfica.

Objetivo 2. Conocer la relación real entre el ancho maxilar y el mandibular independientemente de las compensaciones alveolo-dentarias. Con lo cual se podrá definir al maxilar superior y al inferior como tamaño normal, comprimido y sobre expandido.

Objetivo 3. Valorar si existe compensación alveolo-dentaria de los molares y premolares superior e inferior. Y si ésta es generalizada bilateral o unilateral, localizada en sectores o bien unilateral. Este método de diagnóstico, a diferencia de otros, hace hincapié en que para valorar con precisión una compensación dentoalveolar se debe realizar una palpación manual, palpando las corticales y los relieves que se marcan por las raíces tanto por vestibular como por palatino. El clínico tiene que hacerse una imagen virtual de que inclinación tienen las raíces y corroborarlo con la inspección ocular y/o radiográfica.

La finalidad de estos 3 objetivos es la de localizar la zona anatómica implicada en la anomalía transversal y por lo tanto ayudar en la planificación del plan de tratamiento. Así pues, las zonas implicadas pueden ser:

- Complejo maxilar o mandibular.
- Procesos dentoalveolares.
- Dientes.
- Combinación de los anteriores.

Definición de la maloclusión.

Una vez se ha explorado al paciente visualmente, se ha palpado y se ha conseguido los objetivos marcados anteriormente, se procederá a definir la anomalía transversal de la siguiente manera:

Punto 1. Indicar la expresión clínica en máxima intercuspidadación y si existe desviación mandibular o no.

Punto 2. Indicar si en RC cambia la relación interarcadas y si persiste o no la desviación mandibular.

Punto 3. Indicar clínicamente que zona anatómica está implicada.

Ejemplo: *“Mordida cruzada unilateral con desviación mandibular que en relación céntrica se convierte en mordida cruzada bilateral y sin desviación. El maxilar superior está comprimido y existe compensación del proceso dentoalveolar superior derecho”.*

Por lo tanto, la clasificación clínica irá directamente enfocada al tipo de tratamiento a recibir.

A parte, se va hacer una mención especial a un tipo de anomalía transversal denominadas mordida cruzada oculta.

Se tratan de dos tipos de situaciones en las que el clínico debe tener mucha precaución a la hora de detectarlas. Una de ellas es la que se da en procesos dento-alveolares compensados y la otra se da cuando se pasa de una relación sagital de clase II según Angle esquelética a una normooclusión de clase I. Es decir, la mordida cruzada no existe en máxima intercuspidad, pero en cuanto iniciamos el tratamiento, ya sea por la descompensación de las arcadas en maxilares estrechos con aparatología fija multibrackets o bien por avances mandibulares mediante el uso de la ortopedia o en planificaciones en cirugía ortognática, se expresa clínicamente el déficit de expansión maxilar y aparece la mordida cruzada. Por lo tanto, en maxilares con procesos dento-alveolares compensados se deberá tener en cuenta su descompensación previa y en los avances posicionales de la mandíbula se deberá tener previsto una expansión del maxilar.

2.2.1.4. Frecuencia.

La MCP puede establecerse en la población con una frecuencia entre 8,5-17%. Los datos similares tanto en denticiones temporales, mixtas y permanentes, ya que esta maloclusión difícilmente se corrige espontáneamente (Perillo et al. 2010).

En la figura 2.12 se muestra el porcentaje hallado en diversos estudios epidemiológicos realizados en la población española:

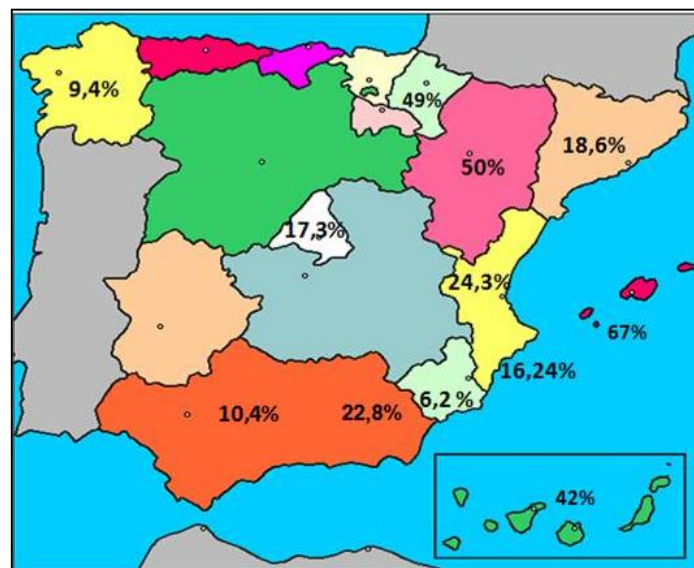


Figura 2.12. Galicia. 441 niños: edad media 9,6 (Iglesias 2003), Cataluña. 1051 niños, edad media 9,3 (García y Ustrell 2012) Comunidad de Valencia. 1100 niños, edad media 8,1 (Paredes y Paredes 2005), Comunidad de Madrid. 364 niños, edad media 9,58 (Alió y Álvarez 1999), Andalucía 1000 niños, edad media 13 (De Haro y Travesi 1994), Murcia. 420 niños, edad media 14,5 (Murcia i Bravo 1998), Granada 170 niños, edad media 8,1 (Baca et al. 1989) Zaragoza-Sta. Cruz-Palma-San Sebastián, edad 13,2-13,6-13,2-13,1 (Bravo et al. 1987), Valencia. 262 niños, edad media 9,2 (Canut i Vila 1975).

2.2.1.5. Tratamiento de la MCP.

Teniendo en cuenta los conceptos analizados en el apartado de exploración ocular y palpación, para realizar un correcto tratamiento de la anomalía transversal, se va a tener que tratar al paciente desde la RC, valorando si existen interferencias que modifiquen el movimiento mandibular, estudiando anomalías en forma y tamaño de los maxilares y de los dientes y haciendo hincapié en las compensaciones dento-alveolares. Estas compensaciones serán más evidentes a medida que haga más tiempo que se ha instaurado la relación transversal anormal. El resultado de un determinado tipo de mordida cruzada puede ser debida a uno o varios factores etiológicos, de manera que para tratar esta anomalía será importante valorar las causas, ya que tratar la mordida solo por su expresión clínica puede conducir al fracaso de tratamiento y aún peor, producir un empeoramiento de la oclusión que solo pueda resolverse con la ayuda de la cirugía ortognática. En la figura 2.13 se puede seguir en líneas generales como llegar al tratamiento. Como se puede apreciar en el esquema, diferentes expresiones clínicas se resuelven con la misma aparatología aunque la etiología sea distinta.

a. Mordida cruzada bilateral (MCB). Figura 2.14.

La RC no difiere de la relación oclusal existente en máxima intercuspidad. Se puede dar dos expresiones clínicas y las dos coinciden, la RC y el punto de máxima intercuspidad. A su vez, debe valorarse la compensación:

a.1. No existe compensación.

El factor etiológico de la mordida anómala es de causa esquelética. Se deberá valorar que maxilar es el que está alterado. Si el maxilar es estrecho, en el caso de los niños se podrá realizar una disyunción. Si se trata de adultos, cuando la atrofia sea leve se puede valorar realizar un camuflaje con ortodoncia fija ya sea multibrackets o bien quad-helix. En el caso de atrofia maxilar moderada o severa se deberá combinar el tratamiento de ortodoncia fija con la cirugía ortognática.

a.2. Existe compensación.

En esta situación la etiología puede ser dental o dento-esquelética. El tratamiento inicial será pues el de corregir la inclinación dentoalveolar que puede localizarse en el maxilar, en la mandíbula o bien en ambos. Si los dientes tienen una inclinación palatina, es decir, un torque negativo, se deberá dar inclinación hacia vestibular (torque positivo) y en el caso de dientes con

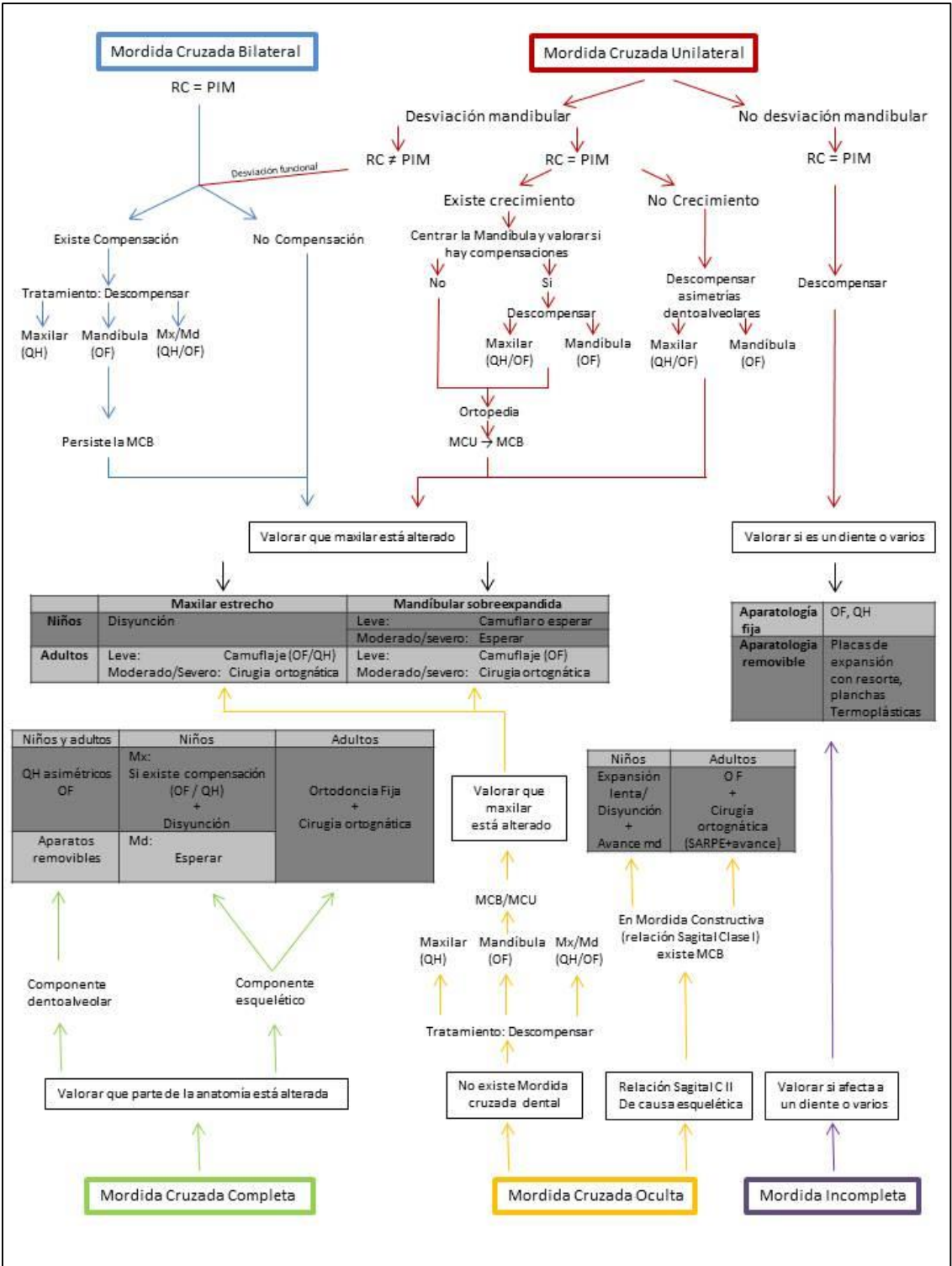


Figura 2.13. Línea de actuación para corregir las diferentes anomalías transversales.

inclinación vestibular, se les deberá dar un torque negativo. Como regla general, se debe posicionar los dientes con una inclinación radicular adecuada a la anatomía de su maxilar. Una vez descompensados los procesos dentoalveolares se valorará si persiste la MCB o no. En los casos en el que el factor etiológico era únicamente dental, la MCB habrá desaparecido. Si persiste la anomalía, quiere decir que la causa es dento-esquelética y se debe valorar que

maxilar está alterado y actuar sobre este, tal y como se ha explicado anteriormente y se resume en el esquema.



Figura 2.14. Mordida Cruzada Bilateral.

b. Mordida cruzada unilateral (MCU).

Primero de todo hay que diferenciar si existe desviación mandibular o no, dándose 3 expresiones.

b.1. Desviación mandibular. RC≠PIM. Figura 2.15.

Como se ha explicado anteriormente, cuando de una MCU en PIM se pasa a una MCB en RC se está hablando de una desviación funcional. Así pues, una vez se posiciona la mandíbula del paciente en RC se tratará la maloclusión como una MCB y se seguirá el esquema de ésta. Por lo tanto, cuando la desviación funcional sea producida por una interferencia únicamente dental, con descompensar será suficiente. Sin embargo, en desviaciones funcionales en las que la causa es dento-esquelética, se deberá primero descompensar y después tratar los maxilares.



Figura 2.15. Mordida Cruzada Unilateral por desviación funcional.

b.2. Desviación mandibular. RC=PIM.

La variable crecimiento será vital a la hora de enfocar el tratamiento:

b.2.1. Existe crecimiento. Figura 2.16.A-B.

El primer tratamiento a realizar será centrar la mandíbula. Antes de iniciar el centrado, el clínico debe cerciorarse de si existe desviación dentaria además de la mandibular. Por lo tanto, a la hora de centrar la mandíbula, está deberá hacerse con los puntos medios esqueléticos, ya que guiarse por un punto interincisivo incorrecto conducirá a un centrado equivoco. Con el paciente con la mandíbula centrada se valorará si existen compensaciones. En el caso en que exista compensación dentaria, ésta debe descompensarse previamente con aparatología fija, puesto que unos maxilares centrados con RO de la articulación temporo-mandibular mediante la ortopedia con procesos dento-alveolares compensados, daría como resultado una oclusión inestable, con posible mordida abierta y con una gran probabilidad de recidiva. En el caso que no exista compensaciones se optará por la ortopedia directamente. Por lo tanto, con la mandíbula centrada y con los procesos dento-alveolares descompensados se habrá pasado de una MCU a una MCB y se tratará como tal.

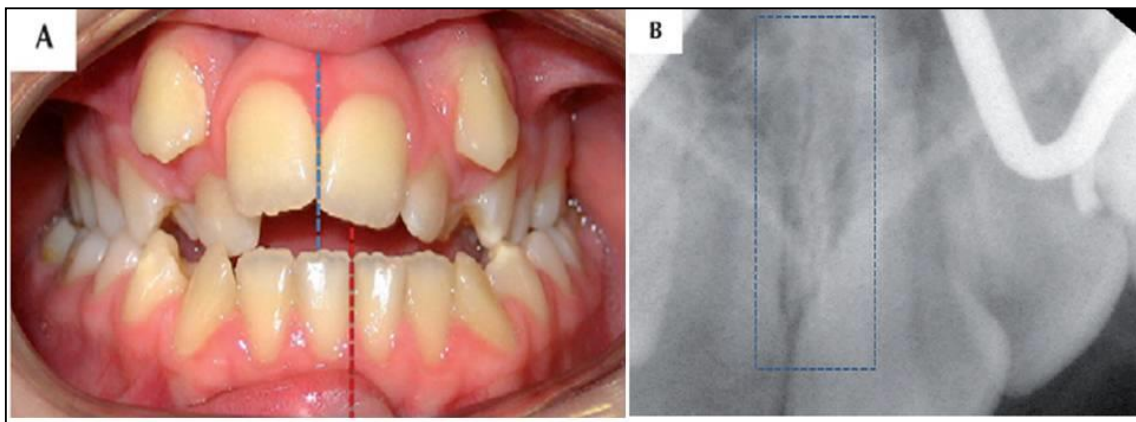


Figura 2.16. Mordida Cruzada Unilateral con desviación mandibular en crecimiento. A Fotografía intraoral. B Detalle de la sutura palatina aún no cerrada.

b.2.2.No crecimiento. Figura 2.17.

Esta expresión clínica es importante de diagnosticar bien debido al tratamiento que comporta. Se está tratando de pacientes adultos sin capacidad de realizar tratamiento ortopédico y con compensaciones dento-alveolares. Dependiendo de lo que el clínico y el paciente pacten se optará por un camuflaje o bien por un tratamiento combinado de ortodoncia y cirugía ortognática. Es frustrante que el tratamiento de camuflaje no sea correcto o

bien se descontrola el tratamiento y se acaba descompensado sin querer, teniendo que dirigir al paciente a una posible intervención quirúrgica no deseada.

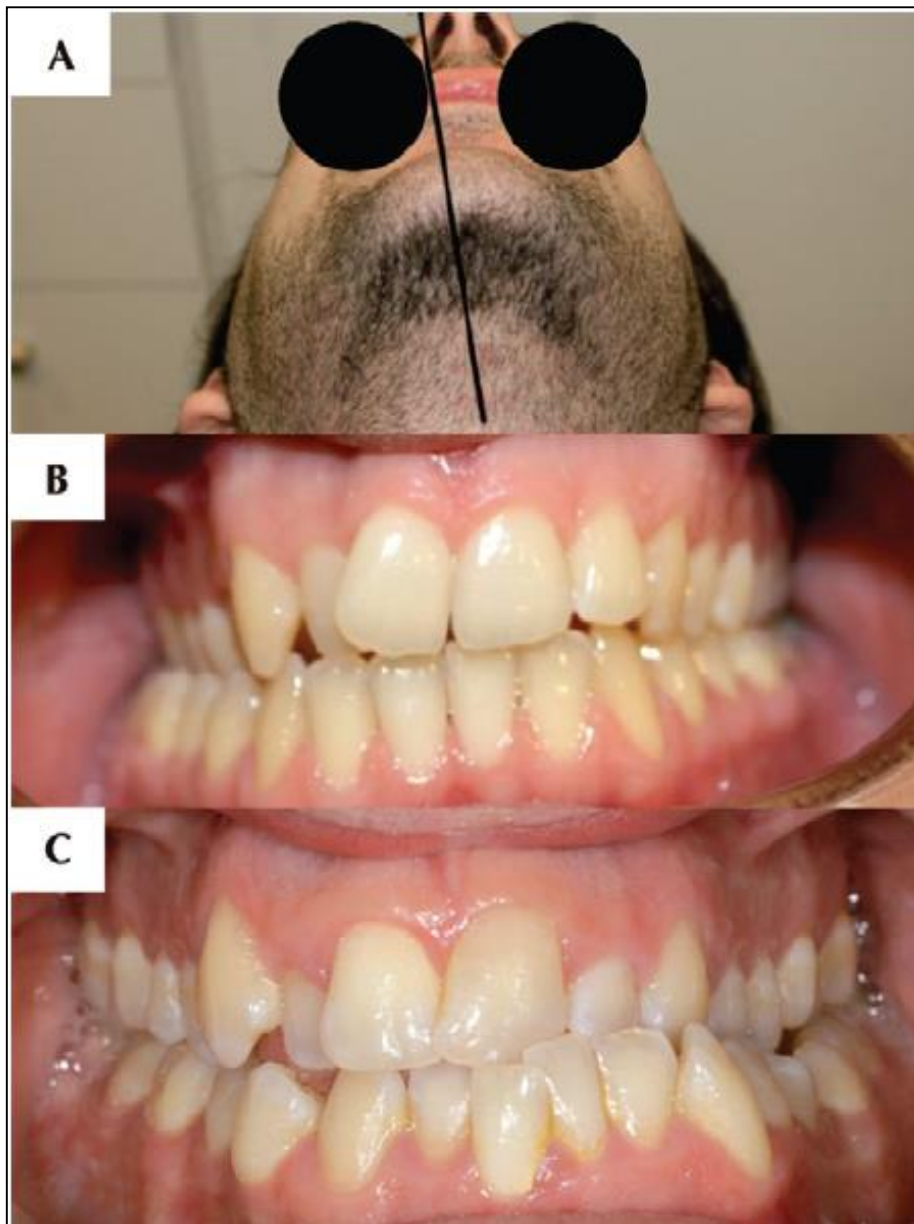


Figura 2.17. Mordida Cruzada Unilateral con desviación de la mandíbula sin crecimiento. A-B Paciente con ligera compresión maxilar y desviación mandibular, candidato a realizar un camuflaje con ortodoncia fija. C Mordida cruzada grave a tratar con una combinación de ortodoncia y cirugía ortognática.

b.3. No desviación mandibular. RC=PIM. Figura 2.18.

Existe un diente o varios que se encuentran en mordida cruzada, con lo cual se tendrá que corregir la inclinación y adecuarla a su base maxilar, pudiendo ser maxilar o mandibular. Por lo tanto se está hablando de factor etiológico dental y su resolución se llevará a cabo con aparatología removible o fija.



Figura 2.18. Mordida Cruzada sin desviación mandibular.

c. Mordida incompleta (MI). Figura 2.19.

En los casos en que el borde a borde sea generalizado en ambas arcadas, el paciente puede presentar inestabilidad en su oclusión. Sin embargo, la RC es la misma que PIM y el tratamiento será con aparatología fija o removible.



Figura 2.19. Mordida Incompleta.

d. Mordida Cruzada oculta (MCO).

Se da en dos situaciones:

d.1. Relación sagital de clase II. Figura 2.20.A-B.

Según la severidad de la anomalía transversal con los niños se podrá realizar una expansión lenta, como se realiza con los mismos aparatos de ortopedia, o bien una expansión rápida con disyuntor seguida de una fase de ortopedia. A los adultos se les planificará un tratamiento combinado de ortodoncia más cirugía ortognática.

d.2. No existe mordida cruzada. Figura 2.20.C.

Se descompensan los procesos dento-alveolares, ya sean maxilares o mandibulares y puede aparecer una MCU o MCB. El tratamiento será según el esquema.



Figura 2.20. A-B Mordida Cruzada Oculta por una importante relación sagital de clase II. Obsérvese como se expresa el avance en constructiva. C Mordida Cruzada Oculta con compensaciones del proceso dentoalveolar. Las líneas discontinuas indican la inclinación adquirida por los sectores laterales y posteriores para entrar en oclusión.

e. Mordida cruzada completa(MCC).

e.1. Afectación dentoalveolar. Figura 2.21.

Tanto en niños como en adultos el tratamiento de elección será descompensar. El objetivo es hacer simétricas las hemiarcadas.



Figura 2.21. Mordida Cruzada Completa Lingual de causa dental.

e.2. Afectación esquelética. Figura 2.22.

En los niños, cuando la zona anatómica afectada es el maxilar por una fuerte atrofia se podrá realizar una expansión rápida palatina con o sin descompensación previa. Si la afectación se da en la mandíbula se esperará a la finalización del crecimiento.

En los adultos el tratamiento de elección será la combinación de la cirugía ortognática y la ortodoncia fija.

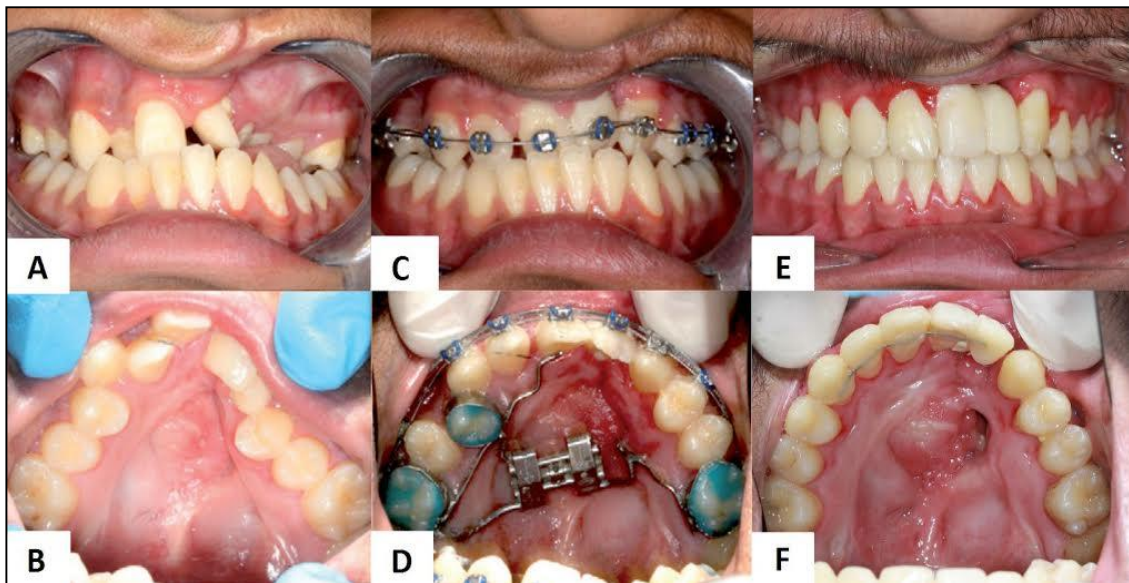


Figura. 2.22. Mordida Cruzada Completa Vestibular de causa esquelética en un paciente con fisura labioalveolopalatina unilateral. A-B Pretratamiento. C-D Imágenes una vez realizada la disyunción y (previo injerto).E – F. Paciente 1 mes después de la cirugía. Se puede apreciar el fracaso del aloinjerto por mala higiene oral.

2.2.1.6. Definición de Expansión Rápida Maxilar (ERM).

En 1860 se documenta por primera vez la expansión del maxilar y la aparición de un diastema interincisivo tras activar un tornillo ubicado en medio del paladar apoyado en premolares (Angel 1860). Cuando la causa de la mordida cruzada posterior es de origen esquelético, se realiza ERM del paladar que produce cambios en las estructuras subyacentes mediante el uso de un aparato de expansión con tornillo fijados, que abren la sutura media palatina (Haas 1965 y Wertz 1970). En la mayoría de aparatos de expansión rápida se produce un desplazamiento lateral constante en cada activación, que suele ser de 0.2 mm.

a. Efectos biológicos. Dentales, esqueléticos y de tejidos blandos.

Los principales efectos dento-esqueléticos que se consiguen con una expansión rápida del maxilar son las consecuencias que se evitan al tratar la anomalía de manera precoz y que se ha comentado anteriormente en la justificación del tratamiento. Sin embargo, el propio tratamiento comporta unas consecuencias dentales, esqueléticas, de los propios tejidos blandos de la zona circumaxilar y funcionales. En la tabla en la tabla 2.1 se enumera estudios realizados y los resultados y materiales y métodos empleados.

Tabla 2.1 Cambios tras una ERM analizados en diferentes estudios.

Cambios esqueléticos	Medición	Número de individuos / Dentición	Momento de obtención de datos	Autores y año
Apertura de la sutura mayor en la zona anterior, respondiendo a una geometría de apertura de patrón triangular en donde la base más ancha está en la porción anterior del maxilar. Aumento significativo del volumen palatino.	CBCT	30 – mixta/definitiva	Inmediatamente tras expansión	Garrett et al. (2008)
	Modelos virtuales 3D	30 – mixta	A los 2.6 años	Gracco A. et al. (2010)
La densidad de la sutura se redujo significativamente después de la expansión En el período de retención se produjo un aumento significativo de la densidad de la sutura, aunque no alcanzó el nivel inicial. Ligero movimiento inferior del maxilar (SN-PNS 0,9 mm; SN-ANS 1,6 mm)	CBCT	14 - definitiva	Tras la expansión y los 6 meses de retención	Schauseil M. et al. (2014)
	Telerradiografía lateral	Revisión bibliográfica	Tras la expansión	Lione R. et al. (2013)
Desplazamientos de los huesos en la sutura frontonasal, sutura intermaxilar, sutura cigomaticomaxilar y sutura medio palatina.	CBCT	23 - definitiva	Tras la expansión y a los 6 meses de retención	Woller JL. et al. (2014)
Un aumento del volumen nasal	CBCT	30 – mixta		Bouserhal J. et al. (2014)
Cambios dentales (separación)				
Aumento de la distancia intercanina e intermolar, con inclinación bucal de los dientes (torque positivos). Dicha inclinación es mayor en las expansiones realizadas con aparatos fijados por bandas	Multi-tomografías	23 - definitiva	Tras la expansión	Olmez H. et al. (2007)
Cambios Tejidos blandos				
Cambios sutiles en el complejo tejido blando naso-maxilar. Hay un aumento en la anchura de la base nasal, retracción y aplanamiento de la punta de la nariz. Estos cambios son pequeños, de menos de 2mm y variable entre los pacientes	3D estereofotografía / CBCT	14 - definitiva	Tras la expansión	Altorkat Y. et al. (2014)
Cambios Funcionales				
La presión de la vía aérea faríngea durante la inspiración se disminuye con la reducción de la resistencia nasal	CBCT/computational fluid dynamics	25 - mixta	Tras la expansión	Iwasaki T. et al. (2014)
La actividad muscular del masetero y temporal anterior en el lado cruzado mejoraba un año después de haber sido tratada la anomalía transversal.	Electromiografía	30 - mixta	1 año después	Alarcon JA. et al. (2009)
Aumento de la presión muscular de las mejillas sobre la arcada superior	Electromiografía	15 - definitiva	4 meses	Halazonetis DJ. et al. (1994)

Tal y como indica Lione et al. en su revisión bibliográfica, no existen cambios en el comportamiento del crecimiento vertical de los pacientes que han recibido un ERM a largo plazo (Lione et al. 2013). Los cambios verticales

derivados de la expansión se consideran insignificantes y, lo más importante, transitorios. En la evaluación a largo plazo, se observó un enderezamiento de los dientes anclados y que las estructuras periodontales no se están comprometidas.

b. Recidiva tras una EMR.

Existen pocos estudios sobre la expansión ortopédica que informen sobre la activación, sobrecorrección y protocolos de retención. Hicks sugirió que la cantidad de recidiva estaba relacionada con el proceso de retención después de la expansión. El autor confirmó que si el expansor era retirado inmediatamente después de la fase activa de expansión, la recidiva podía llegar a ser del 45% de la distancia producida durante el tratamiento. La retención fija durante dos o tres meses permitía entre el 10% y el 23% de la recidiva, mientras que con la retención removible oscilaba entre el 22% y el 25%. Estos resultados concluyen que es necesaria como mínimo durante 2 meses la retención fija (Hicks 1978). Este periodo de retención coincide con las 6 semanas de duración de las fuerzas que inducen a la recidiva posterior a la fase activa de expansión (Zimring e Isaacson 1965). Es por este motivo, que la posibilidad de recidiva hace necesario que se deba de obtener una sobrecorrección de la expansión (Lima et al. 2005).

2.2.1.7. Causas generales de recidiva.

La recidiva o bien el fracaso tras realizar una expansión puede deberse a dos tipos de causas; la continuidad de los factores causantes de dicha anomalía y una realización incorrecta del tratamiento.

Continuidad de los factores causantes.

- Factores genéticos. Tras la expansión, el paciente en crecimiento puede tener un desarrollo no equilibrado entre los maxilares ya sea por un crecimiento anómalo del maxilar superior (hipoplasia maxilar), por un crecimiento más acentuado del maxilar inferior (hiperplasia mandibular) o bien combinación de ambos.
- Las limitaciones anatómicas que condicionan la posición baja de la lengua como el frenillo, hipertrofia amigdalar o la respiración oral persisten y favorecen un incorrecto desarrollo del maxilar.
- Hábitos inadecuados que posicionan la lengua abajo.
- Aparición de traumatismos o erupción ectópica de dientes permanentes.

Tratamiento incorrecto.

- Retención fija que falla o que la estabilidad que proporcionan la intercuspidad de las cúspides es incorrecta.
- Expansión insuficiente.
- Control in

- correcto de la tensión de las estructuras craneales que se producen tras la expansión.
- a. Tensión de las estructuras del cráneo.

Ya en la década de los 60 del siglo pasado, mediante el uso de galgas extensiométricas, confirmaron que existen fuerzas residuales tras una disyunción (Isaacson y Zimring 1965). Es por ello que se ha optado por colocar retención fija o removible. Los autores describen que la tensión generada durante la fase de expansión aumenta a medida que se activa el tornillo, es decir, a mayor activación, mayor tensión acumulada (Brosh et al. 1998, Sun et al. 2011). La disipación de dicha tensión dependerá del protocolo de activación utilizado y de la expansión realizada y entre otras, de las características anatómicas del paciente. La anatomía la conforma las suturas circumaxilares y la musculatura. Según Mao, las suturas juegan un importante rol en la absorción y transmisión de tensión mecánica producida por los aparatos de ortopedia (Mao 2002). Estudios basados en la actividad electromiográfica de los músculos maseteros en pacientes a quienes se les realizó expansión rápida del maxilar, demostraron que la presión bucal pasó de 3 g/cm² previo tratamiento a 9 g/cm² tras la expansión, manteniéndose ésta al cabo de 4 meses (Halozenetis et al 1994). De manera, que los autores asociaron la recidiva de expansión a una presión muscular no absorbida.

2.2.2. Aplicación LÁSER de baja intensidad.

2.2.2.1. Bases Científicas.

a. Principio Físico.

Cuando un emisor produce la emisión de un fotón se trata de una emisión lumínica que describe una trayectoria ondulatoria dentro de un campo electromagnético. Figura 2.23.

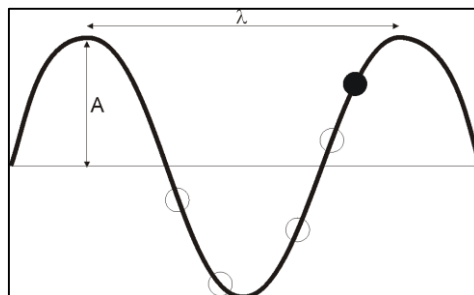


Figura 2.23. Representación de la Energía electromagnética que produce un fotón. El comportamiento ondulatorio del fotón produce un campo eléctrico en el plano y un campo magnético perpendicular al eléctrico.

Utilizando el esquema anterior, se puede definir a la radiación electromagnética gracias a los parámetros que se describen a continuación:

- A = Amplitud: es la intensidad del movimiento ondulatorio y la Energía de la onda es proporcional al cuadrado de su amplitud.
- λ = [m] = Longitud de Onda: es la distancia en la que se repite la forma de onda.
- T = [s] = Período: tiempo necesario para que se realice una oscilación completa.
- f = [Hz] = Frecuencia: es el número de oscilaciones que tiene lugar en un segundo y es el recíproco del período.

La luz viaja por el espacio como onda electromagnética y esto se caracterizan por que la velocidad de su propagación es de 300 000 Km/s (velocidad de la luz). La radiación viene determinada principalmente por la longitud de onda o por la frecuencia, lo cual, determina el comportamiento de los distintos tipos de radiación: Figura 2.24.

- Rayos infrarrojos: λ entre 10 000 y 760 nm.
- Luz visible: λ entre 760 y 380 nm.
- Radiación ultravioleta: λ entre 380 y 180 nm.
- Rayos X y Gamma: $\lambda < 180$ nm.

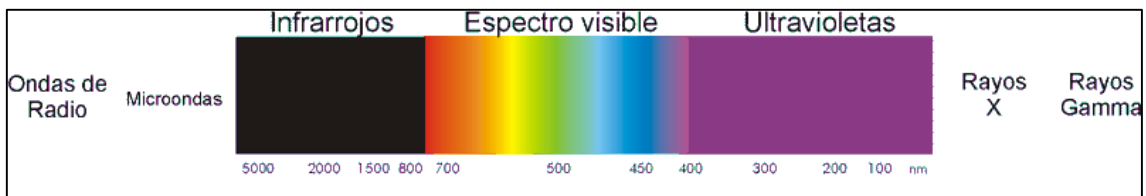


Figura 2.24. Espectro electromagnético.

b. Como se produce la luz.

Existen dos teorías para explicar el fenómeno de la luz:

- Teoría Electromagnética: La luz es una onda electromagnética compuesta de campos eléctricos y magnéticos que varían de manera periódica al viajar por el espacio. Las ondas electromagnéticas transportan energía y no requieren de un medio para propagarse.
- Teoría Cuántica: Según la Hipótesis de Planck la radiación no se puede emitir ni absorber en una cantidad arbitraria sino que siempre se emite o absorbe en cantidades discretas llamadas cuantos.

c. Absorción y emisión de luz.

Toda materia está compuesta de uno o más tipos de átomos, cada átomo contiene un núcleo de protones cargados positivamente y electrones con carga negativa que circulan en órbitas alrededor del núcleo. Los electrones presentan diferentes niveles de energía y son capaces de saltar de una órbita a otra, pero para ello se necesita una fuente externa de energía. Entonces entregando energía a un átomo se puede lograr que los electrones pasen a un estado de mayor energía, creando órbitas más inestables conocidas como estados excitados. Un electrón de un átomo que ha sido excitado intenta recuperar una órbita más estable y cuando lo hace libera la energía que obtuvo en la forma de un fotón, este proceso se llama emisión espontánea de radiación. Figura 2.25.

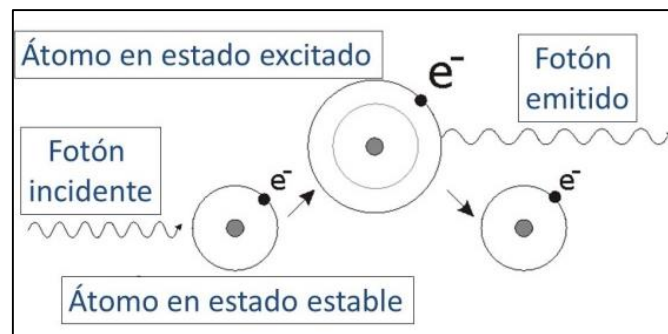


Figura 2.25. Átomo estimulado. La energía se libera en forma de fotón.

d. Amplificación de luz por emisión estimulada.

La emisión de radiación láser se produce cuando un átomo en estado excitado se estimula con el fin de lograr una emisión de fotón. Al incidir en el campo electromagnético de un átomo excitado se dispara la caída del electrón excitado hacia un estado de energía más baja, acompañándose de una liberación de energía almacenada en forma de segundo fotón. La particularidad es que el primer fotón no es absorbido por el átomo y puede continuar excitando a otros átomos. Así pues, el resultado será la emisión estimulada de dos fotones de idéntica longitud de onda que viajan en una misma dirección (monocromaticidad).

La coherencia de la radiación láser es el tiempo de oscilación del fotón incidente ya que la emisión de los dos fotones se produce con oscilaciones en fase.

e. Radiación láser.

La radiación láser se diferencia de la luz normal por las siguientes características:

- Monocromaticidad: Una longitud de onda concreta.

- Coherencia: Todas las ondas se propagan en fase, es decir, en el mismo tiempo.
- Unidireccional: Se transmite en forma de un haz fino y sin divergencia. Además se interpone una lente con el que se puede obtener un punto focal microscópico.

2.2.2.2. Sistemas láser.

A continuación se explica las principales características que pueden condicionar la fabricación de un láser.

Generación del haz láser (Figura 2.26.A.) Tres son los componentes esenciales que conforman un láser:

- Medio activo. Conjunto de átomos o moléculas que pueden ser excitados y que pueden estar en estado sólido, líquido o gaseoso.
- Fuente de energía. Mecanismo de excitación que bombardea los átomos o moléculas del medio activo logrando que éstos pasen a un estado de energía mayor.
- Mecanismo de realimentación. Sistema para devolver al medio activo una porción de la luz coherente producida originalmente en la parte trasera del medio activo para amplificar la emisión. El mecanismo de la realimentación suele consistir en dos espejos, uno en cada extremo del medio activo y alineados de tal manera, que reflejan la luz coherente dentro de la cavidad de resonancia atravesando el medio activo.

Láser pulsado y continuo (Figura 2.26.B.). La emisión del láser puede ser continua, en forma de pulso (una emisión en un corto transcurso de tiempo) o pulsátil (un pulso cada un determinado tiempo).

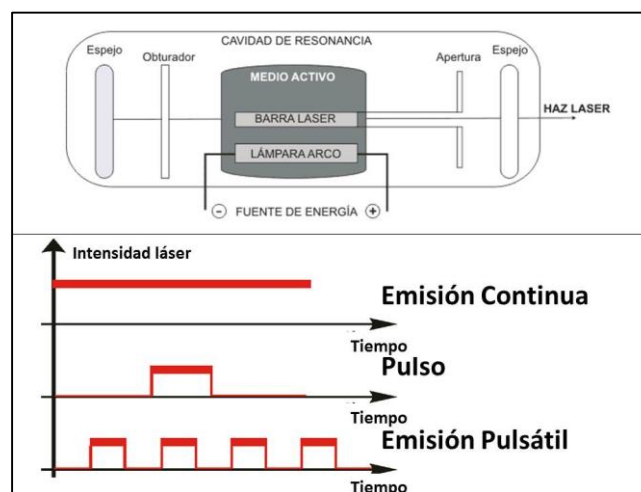


Figura 2.26. A Esquema de un láser. B Tres tipos de emisión láser.

Transmisión de la radiación láser. Los elementos de transmisión pueden ser a través de espejos, utilizado para grandes superficies, lentes divergentes, utilizado en láseres cuyo espectro se encuentra en el rango infrarrojo y por fibra óptica, que presenta la ventaja de ser flexible y de pequeñas dimensiones.

Calidad del haz. El modo de haz láser determina la calidad de radiación y representa la distribución de energía a través del diámetro. Un punto focal pequeño está asociado al perfil de rayo Gausiano, siendo este el único que mantiene el mismo perfil de intensidad (modo Gausiano o TEM00).

Sistemas de enfriamiento. Debido a la importancia de considerar el calor producido al amplificar la luz por estimulación, se pueden utilizar un enfriamiento por circulación de fluidos y por termoelectricidad

2.2.2.3. Clasificación láser

a. Clasificación según Foods and Drugs Administration FDA.

Existen 4 clases y se basan en el efecto biológico producido y en la intensidad de la radiación:

- Clase I. No causa daño biológico. Potencia no mayor a 0.39 mW.
- Clase II. Causa daño del ojo si las exposiciones son directas y prolongadas. La potencia de salida continua de estos láseres no es mayor que 1 mW. Espectro de 400 a 700 nm y la duración de emisión no puede exceder de 0.25 segundos.
- Clase III. Pueden producir daños severos al ojo y ocasionar pérdida de visión. No pueden superar los 500 mW. Operan en el rango ultravioleta e infrarrojo y pueden emitir más de 0.25 segundos.
- Clase IV. Ocasionan daño al ojo y a los tejidos epiteliales incluso con exposiciones cortas o por contacto indirecto. Superan los 500 mW y se encuentran al igual que los tipo III en el infrarrojo y ultravioleta y con pulsos superiores a 0.25 segundos.

b. Clasificación física.

Por su medio activo pueden clasificarse por ser sólidos, líquidos, gaseosos y diodos, mientras que por su longitud de onda los láseres podrán clasificarse por trabajar en el espectro ultravioleta, visible e infrarrojo.

c. Clasificación clínica.

Láser de alta densidad (láser quirúrgico).

Su potencia debe ser lo suficientemente fuerte para elevar la temperatura de los tejidos a más de 50°C. Puede ser continuo o pulsado y se puede dividir en tres tipos:

- Vaporización. Lesiones superficiales. (1-5 W).
- Cortes superficiales. Incisiones superficiales (5-20 W).
- Cortes profundos. Conización y operaciones quirúrgicas mayores (20 - 100W).

Ejemplos: CO₂, Nd: YAG, Ho:YAG, Er: YAG, Argon, Vapor de Copper, KTP/532,...

Laser de baja densidad de potencia (LLLT-“láser blando”).

Puede a su vez ser un láser de diagnóstico o terapéutico. También pueden ser continuos o pulsados y sus principales acciones son:

- Efecto analgésico.
- Antiinflamatorio.
- Bioestimulante a través de un incremento de microcirculación local, acelerando la velocidad de cicatrización de heridas, así como la reducción de edemas e inflamaciones post-operatorias.

Ejemplos: He Ne, Ga As, Ga As Al y los láseres diodos.

2.2.2.4. Interacciones con el tejido.

La radiación láser puede ser absorbida, reflejada, dispersada o bien transmitida. Si el tejido absorbe la energía electromagnética, la convierte en energía calórica, térmica y/o mecánica. Dependerá de las características de la emisión y de la composición de los tejidos y de su afinidad por cada longitud de onda (es decir por el coeficiente de absorción de la luz en los tejidos). Cuanto mayor es la capacidad de absorción, mayor es la energía depositada en una unidad de volumen de tejido. Cabe destacar que los láseres de intensidad media-baja producen interacción foto-química y foto-térmica, mientras que los de mayor intensidad provocan una remoción sustancial y foto-fragmentación del tejido.

Los efectos químicos que toman parte en la absorción de la radiación en el tejido son numerosos y sus efectos varían significativamente con la longitud de onda de la radiación incidente. La variabilidad de absorción de cada una de las sustancias, da origen a los blancos cromóforos, que son aquellas sustancias capaces de absorber una determinada longitud de onda. Un papel fundamental que juega el agua es que representa el absorbente principal en la región espectral infrarroja. El contenido de agua en los tejidos afecta positivamente a la propagación de la radiación produciendo una reducción en la profundidad eficaz de penetración de la radiación en los tejidos. Además, se debe tener en cuenta el término foto-termólisis selectiva, proceso mediante el cual un blanco cromóforo absorbe selectivamente radiación láser.

a. Interacción fotoquímica.

Para este tipo de interacción se puede hacer mediante cromóforos endógenos, tales como la hemoglobina y la melanina, o bien a través de cromóforos exógenos. Existirá interacción fotoquímica si el pulso del láser tiene una duración menor que el tiempo de relajación térmica del cromóforo:

- Reacciones foto-inducidas:
 - Formación foto-inducida. Cuando los átomos de una molécula absorben un fotón.
 - Reacciones de foto-conversión. Las moléculas cromóforas se convierten en foto-productores.
 - Reacciones mediadas por cromóforos. Se excita un cromóforo en particular denominado foto-sensor, que a su vez es capaz de producir reacciones foto-inducidas en moléculas que no absorben por sí mismas ese tipo de radiación. La terapia foto-dinámica está basada en estos procesos.
 - Reacción de foto-disociación. Un fotón incide en una molécula y lo lleva a un estado repulsivo.
- Alteraciones foto-químicas: Tiene efecto en las bases pirimídicas del ADN y en la desnaturalización de las proteínas por la ruptura de sus enlaces.
- Bioestimulación: No se compromete la vida celular y presuntamente promueve ciertas reacciones biomédicas sin inducir efectos térmicos. En la tabla 2.2 se detalla resultados de investigaciones que evalúan la propiedad bioestimulante del láser.

Tabla 2.2. Efectos biológicos hallados por el tratamiento con luz láser.

Autor y año	Efecto biológico
Pinheiro et al. 1997	Mejora la circulación periférica , la oxigenación de las células hipóxicas y ayuda a la remoción de productos nocivos.
Trelles y Ginbach – 1991,1993	Inhibición de la producción de mediadores inflamatorios , como la prostaglandina E2 y la interleukina.
Atkinson – 1977	Mejora metabólica .
Belkin 1986, Van y Bär 1992	Acelera la cicatrización de las heridas a través de la estimulación de formación de fibroblastos .
Schultz et al. 1985	Aumenta la proliferación condral .
Lam et al.1986	Aumento de la síntesis de colágeno .
Anders et al. 1993	Favorece la regeneración del nervio .
Ozawa et al. 1998	Estimula la proliferación y diferenciación de las células nódulo-formadoras de la línea de OB, especialmente en las precursoras resultando en un incremento del número de células osteoblásticas diferenciadas que promueven la formación de hueso.
Conlan et al. 1996	Estimulación de fotoreceptores en la cadena respiratoria mitocondrial, los cambios de nivel de ATP celulares y la estabilización de la membrana celular.

b. Interacción foto-térmica.

Cuando una molécula orgánica absorbe un fotón y se queda en un estado excitado hace que aumente la temperatura. Los cambios histológicos en el material variaran en función de la temperatura y se trata de un proceso que se suele dar con láseres continuos potentes o con pulsación pulsátil, en la cual el pulso excede el milisegundo:

- Hipertermia con muerte celular (43-45°C). Se desnaturaliza la molécula con ruptura de enlaces de hidrógeno.
- Reducción de la actividad enzimática (50°C).
- Coagulación - Desnaturalización de proteínas y colágeno (60°C). Se afecta por completo el citoesqueleto de la célula debido a que las proteínas se contraen.
- Formación de vacuolas extracelulares (+100°C). Se produce una tensión del tejido porque la célula al aumentar su tamaño pasa de estado líquido a vapor, y se comprime las células adyacentes (burbujas).
- Ruptura de vacuolas (>100°C). Cuando la célula no permite mayor expansión explota y por lo tanto se produce pérdida de agua y la capacidad de conductibilidad térmica.
- Termoablación de tejido (300-1000°C). Se quema el tejido.
- Vaporización de carbón (3350°C).

Todos estos cambios histológicos dependerán del tipo y características de la radiación láser y del tejido en sí. Al tejido se le aplica el concepto de tiempo de relajación térmica que se denomina como el tiempo requerido para que el blanco se enfríe en un 50 % transfiriendo a través de difusión térmica su calor a los tejidos vecinos.

c. Efectos fotomecánicos.

Se trata de pulsos de presión (ondas de choque) que se propagan en el aire delante de la superficie radiada y en el propio tejido y siempre que el pulso del láser sea menor a 1 milisegundo.

- Foto-ablación. Se trata del corte de tejido y su profundidad dependerá de la densidad de energía.
- Foto-fragmentación. El término foto-fragmentación se aplica al conjunto de procesos que dan como resultado la eyección de una o varias partículas (que pueden ser de diferente naturaleza: iones, electrones o fragmentos neutros), y que un sistema originario de estado fundamental absorbe un fotón de una dada longitud de onda (Greene y Zare 1982) .

2.2.2.5. Aplicaciones dentales.

En principio, con pocas excepciones, todos los pacientes pueden recibir tratamiento con radiación láser. Sin embargo, no todos responden de la misma manera ya que dependerá de las condiciones del tejido y del sistema inmunitario. Las principales indicaciones, su modo de acción y los autores que lo estudian junto a la dosis administrada se detallan a continuación en la tabla 2.3.

Tabla 2.3. Estudios sobre diferentes aplicaciones del láser de baja intensidad en el sistema oral.

Lesión o tratamiento dental	Modo de acción	Autor y año
Alveolitis	Prevención tras una extracción o bien irradiando el alveolo y la zona circundante de manera directa. Los nódulos linfáticos locales pueden ser irradiados también.	Hedner 1994
Anestesia	Se anestesia el ápex, de manera que aumenta la circulación y el anestésico puede ser absorbido más rápidamente.	Omura et al. 1992
Aftas	Reducir el tiempo de curación. Para calcular la dosis adecuada a cada paciente, se valorará el tiempo de respuesta del paciente al dolor	Guerra et al. 2004
Sangrado	Tras una vasoconstricción inicial, le sigue una vasoconstricción	Trelles y Mayayo 1992
Caries	Disminuye la solubilidad de la dentina y la hiperemia tras rellenar con composite Aumenta la resistencia al combinar con fluor	Godoy et al. 2007 Van Rensburg y Witshire 1994
Pericoronaritis	Inhíbe el crecimiento bacteriano Biomodulación de las células pulpares y expresión del colágeno Tras la eliminación del opérculo se reduce el dolor incluso con la erupción de dientes definitivos	Okamoto et al. 1992 Ferreira et al. 2006 Manne 1985
Endodoncia	Tratamiento del dolor en caso de sobre instrumentación Amputación de la pulpa y combinación con hidróxido de calcio.	Liu et al. 2000 Bogomil'skiĭ et al. 1989
Extracción	Se acelera la curación de los tejido blandos Aumenta el proceso de osificación a corto plazo Reducción del dolor post extracción	Filho et al. 1988 Takeda 1988 Wahl y Bastianer 1991
Gingivitis	Ayuda a reparar el tejido inflamado a corto plazo	Amorim et al. 2002
Herpes zoster	Actúa disminuyendo el dolor en la fase aguda y a su vez disminuye la posibilidad de aparición de síntomas dolorosos en la fase postherpética.	Moore 1996
Hipersensibilidad dentinaria	Disminución del dolor a los agentes externos Estudio in vitro en ratas demostró la estimulación de células odontoblastos, producción de dentina reparativa y cierre de túbulos dentinarios.	Yamaguchi et al. 1990 Brugnera 2001
Implantología y fracturas mandibulares	Disminución del sensación, del dolor y del periodo de curación	Lizarelli et al. 1999
Leucoplasia	Disminuye el tamaño de la lesión	Pietruska et al. 2014

Lengua geográfica	Disminución de los síntomas subjetivos de incómodos del paciente	Mezawa et al. 1988
Queilitis angular y lesiones de labio	En pacientes con parálisis cerebrales espásticas por conducta de autolesión ayuda a eliminar y a curar la lesión promoviendo una mejora en la calidad de vida del paciente gracias a una masticación indolora.	Santos et al. 2010
Mucositis	Reduce la severidad de las mucositis inducidas por la quimioterapia en pacientes sometidos a trasplante de células madre hematopoyéticas.	Santos et al. 2014
Nauseas	Reduce la náusea. Se aplica láser en el surco mentolabial o bien a modo de acupuntura en la zona antebrazo. El efecto puede durar de 2 a 3 minutos.	Schlager et al. 1998
Lesión de nervio	Indicado cuando el paciente presenta ansiedad ante la parestesia producida por traumatismo o tras una cirugía maxilofacial. Ayuda a regenerar la función neural	Miloro y Repasky 2000
Edema	Una vez está establecido facilita la vasodilatación de los vasos linfáticos y sanguíneos. No se utiliza como profilaxis.	Markovic y Todorovic 2007
Dolor	Inhibición de la ciclooxigenasa, interrumpiendo la conversión del ácido araquidónico en prostaglandina y aumentando la producción de beta-endorfinas.	Enwemeka et al. 2004
Periodoncia	Como adyuvante al tratamiento convencional para reducir el dolor y el edema	Kawamura et al. 1990
Articulación temporomandibular	Efecto bactericida	Shibli et al. 2003
	En el caso de trismo se inicia la irradiación en los músculos afectados y a medida que se va aumentando la apertura se irradia músculos periféricos de anclaje.	Tasaki et al. 1992
	Para la artritis o artrosis se recomienda dosis bajas, ya que la zona afectada esta a poca profundidad	Bradle y Revblini 1996

a. Ortodoncia y ortopedia maxilo-mandibular.

Las principales aplicaciones en los pacientes de ortodoncia son la reducción del dolor, la eliminación de lesiones del tejido blando producidas por los aparatos intraorales y la aceleración del movimiento dentario y la remodelación ósea que comporta.

Esta última aplicación es la que nos interesa para el estudio que se quiere llevar a cabo. Ya en el 1987, se sugirió que el uso del láser de He-Ne con una energía de 3,4 J aplicada cada 2 días en tibias fracturadas de ratas promovían las condiciones para tener una osteosíntesis más rápida y con un incremento en la formación de hueso de buena calidad (Treyes y Mayayo 1987). Este hallazgo era debido a la biomodulación de la actividad de los OC y al incremento de la circulación sanguínea. Actualmente se está utilizando láser como el Ga Al As para favorecer la regeneración ósea del área anterior de la sutura medio palatina después de una expansión rápida del maxilar quirúrgicamente asistida (SARME) con buenos resultados (Angeletti et al 2010).

Aunque el mecanismo de acción de la irradiación láser no es del todo bien conocido existen teorías sobre ello. Los hallazgos sugieren que los efectos terapéuticos del láser en las células son debido a mecanismos de señalización

intracelular activados por la interacción de la luz láser con las mitocondrias. Las mitocondrias son responsables de la activación del ATP, una molécula con gran cantidad de fosfato que interviene durante la respiración celular. ATP produce energía cuando se pierde uno fosfato, formando adenosina difosfato, la cual se volverá a convertir en ATP por la cadena de transporte de electrones mitocondrial. Esta cadena es un grupo de enzimas complejas que se encuentran dentro de la membrana mitocondrial, he involucra la transferencia de electrones desde un complejo al otro. Durante la transferencia de electrones, los iones hidrogeno (H⁺) o protones son bombardeados desde el interior de la membrana hacia al espacio intermembranoso, y por ello se crea un gradiente electroquímico de protones. Es cuando los protones fluyen de regreso al interior de la membrana a través de la enzima ATP-sintetasa, en contra del gradiente electroquímico, en el cual el ADP es fosforilado y pasa a convertirse en ATP. Situadas en el interior de la membrana, anterior a la ATP-sintetasa, están 4 grupos de enzimas mitocondrias llamadas Complejo I (NADH: oxidoreductasa de ubiquinona, Complejo II (succinato: oxidoreductasa de ubiquinona), Complejo III (citocromo bc1) y el Complejo IV (citocromo c-oxidasa) (Eells et al. 2004).

a.1. Elección de la longitud de onda - 660nm.

De la gran variedad de láseres disponibles en la Universitat de Barcelona, se ha decidido, por la experiencia del profesorado y por los artículos que avalan sus resultados, un láser con una longitud de onda de 660 nm. Zungu et al. demostraron la interacción existente entre la luz láser y las moléculas foto-aceptoras mitocondriales, el citocromo c oxidasa, mientras que Houreld et al. con su laser de 660 nm influenciaron la actividad enzimática mitocondrial aumentando la actividad del citocromo c-oxidasa (Zungu et al 2008, Houreld et al 2012). En un estudio reciente han valorado que dicha longitud de onda es capaz de modular el estado de activación celular de los macrófagos durante los procesos inflamatorios (Souza et al. 2013), mientras que de Melo Rambo et al. confirmaron la capacidad de favorecer la regeneración tisular mediante el estudio de la expresión de la proteína de TNF- α , IL-1 β , and IL-10, presentes en el proceso de reparación (de Melo 2013). A su vez, estudios in vitro han comprobado que la irradiación láser a baja dosis en células madre mesenquimáticas derivadas de la médula ósea y de tejido adiposo no producían a corto plazo alteraciones de sus componentes nucleares (Barboza et al. 2014).

Para la curación de las heridas, y en lo que respecta a este estudio la regeneración de la sutura de los huesos intermaxilares, es importante la proliferación y migración celular, es decir, un aumento en la actividad celular. Para ello, deberá existir un aumento en la actividad en la cadena de transporte de electrones en las mitocondrias que aumentará el ATP.

2.2.2.6. Seguridad láser.

La onda electromagnética cuanto más frecuencia presenta, mayor es su energía. Por lo tanto, mayor capacidad de generar alteraciones en los átomos de la molécula.

a. Clasificación de los riesgos.

El comité del *American National Regulation Institute* (ANSI) y del *Federal Drugs and Alimentation* (FDA) han clasificado los láseres en función del riesgo que podían presentar. Para ello han sido clasificados según su energía total y su longitud de onda. Por lo tanto han sido divididos en 4 clases:

- Clase I. No producen daño.
- Clase II. Al generar un fuerte brillo, la observación directa es evitada. Sin embargo, si supera la visión directa 0.25 s (que es la duración del reflejo palpebral) si que puede existir lesión.
- Clase III A. Seguros para miradas indirectas o y directas breves.
- Clase III B. No seguro para miradas breves, ya sea por visión breve o indirecta.
- Clase IV. Daño por visión directa, reflexión especular (superficies espejadas) y reflexión difusa (el rayo se refleja en varias direcciones). A parte pueden ocasionar quemaduras y lesiones en piel.

A continuación se expone en la tabla 1.4 el daño ocular que puede producir un láser en función de su longitud de onda:

Tabla 2.4. Lesión ocular en función de la longitud de onda.

Longitud de onda	Signo ocular
Ultravioleta-A (315-380 nm)	Niveles altos o exposiciones prolongadas pueden causar cataratas
Ultravioleta-B (280-315 nm)	Cataratas, quemaduras cutáneas
Ultravioleta-C (100-280 nm)	Daño de la córnea y el cristalino. Pérdida de visión
Luz azul (400-480 nm)	Daño de la retina, pérdida de visión
Infrarrojo-A (700-1400 nm)	Daño de la retina
Infrarrojo-B (1400-3000 nm)	Daño de la córnea y el cristalino
Infrarrojo-C (3000 nm-1 mm)	Quemaduras, pérdida de visión

b. Requisitos de seguridad.

La zona de riesgo nominal se refiere al área alrededor del campo operativo, en donde hay un peligro para cualquier individuo que se encuentre allí, si por alguna contingencia la luz fugara hacia la zona. Toda persona

incluida en dicha zona deberá tener en cuenta las siguientes pautas de seguridad:

- Protección ocular. Para poder operar en la Comunidad Europea (CE), se debe seguir la norma EN 207 (norma para la seguridad de las gafas para protección láser). Mientras que en la CE se requiere que aparte de absorber una determinada longitud de onda, sean capaces de soportar un impacto directo, ANSI solo exige la protección óptica.
 - Según la norma EN 207 se especifica cuatro modos de funcionamiento del láser:

Modo de trabajo	Carta	Duración del impulso
Onda continua	D	> 0,25 s
Modo pulsado	I	1 ms-0.25 s
Modo pulsado gigante	R	1 ns-1 ms
Mode locked	M	<1 ns

- En función del modo de trabajo y de la longitud de onda se podrá catalogar el tipo de gafa utilizando la nomenclatura L1-L10. Tabla 2.5.

Tabla 2.5. Números escala. En donde P se expresa en W/m², E en J/ m².

Modo de trabajo	Rango de longitud de onda	Láser máxima densidad de potencia	Nivel mínimo de protección para el poder dado
D (continua)	180-315 nm	$1 \times 10^{n-3} \text{ W / m}^2$	$\log (P) + 3$
	315-1400 nm	$1 \times 10^{n+1} \text{ W / m}^2$	$\log (P) - 1$
	1400nm-1000 micras	$1 \times 10^{n+3} \text{ W / m}^2$	$\log (P) - 3$
I, R (pulsos)	180-315 nm	$3 \times 10^{n+1} \text{ J / m}^2$	$\log (E / 3) - 1$
	315-1400 nm	$5 \times 10^{n-3} \text{ J / m}^2$	$\log (E / 5) + 3$
	1400nm-1000 micras	$1 \times 10^{n+2} \text{ J / m}^2$	$\log (E) - 2$
M (pulsos ultra-cortos)	180-315 nm	$1 \times 10^{n+10} \text{ W / m}^2$	$\log (P) - 10$
	315-1400 nm	$1,5 \times 10^{n-4} \text{ J / m}^2$	$\log (E/1.5) + 4$
	1400nm-1000 micras	$1 \times 10^{n+11} \text{ W / m}^2$	$\log (P) - 11$

- Protección para los tejidos. Dependerá de la intensidad (irradiancia) y del tiempo de exposición. El tiempo de exposición deberá ser menor al tiempo de relajación térmica del tejido (tiempo requerido para que la temperatura del mismo, posterior a una irradiación, disminuya en un 50%). Quemaduras de 1º, 2º y 3º. grado son inducidas por láser de luz visible e infrarrojo.
- Protección ambiental. Cuando se produce ablación e incisión del tejido con un láser se produce un humo o “pluma”. Se trata de una mezcla de

partículas y gases volátiles y semi-volátiles. Se debe evitar dicha inhalación, sobre todo cuando se está inhalando pluma de tejido infectado. En estos casos se debe complementar el tratamiento con un sistema de succión de campo que reduzca los contaminantes.

- Protección por combustión. Evitar el incendio por irradiar con láser materiales inflamables como puede ser material de campo quirúrgico, solventes, acetona alcohol, anestesia entre otros. Puede retirarse dichos materiales o bien humedecer con suero estéril el campo quirúrgico.
- Protección de peligros eléctricos. Los láseres tipo IV debido a su gran potencia deben revisarse frecuentemente por el técnico especialista a fin de evitar un incendio, una explosión o bien la electrocución.

c. Precauciones a tener en cuenta en nuestro estudio.

A la hora de realizar y revisar la historia clínica del paciente que va a ser irradiado con láser de baja intensidad se debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Inyecciones de esteroides. Los pacientes pueden sufrir una exacerbación de los síntomas tras la aplicación de terapia con láser, después de una reciente inyección de esteroides. Se aconseja no irradiar tras 2 o 3 semanas de la última administración de inyecciones con esteroides.
- Antiinflamatorios no esteroides (AINEs) y esteroides antiinflamatorios (corticosteroides): Pacientes que estén tomando esta medicación a nivel sistémico o tópico por problemas de dolor o de piel pueden experimentar un aumento leve de sus síntomas. Si ocurre, la terapia láser deberá ser interrumpida.
- Reacciones de foto-sensibilidad. Existen pacientes que experimentan estos tipos de reacciones al tomar ciertos fármacos o de remedios naturales. Por ello se aconseja que se teste con el mínimo tiempo de tratamiento recomendado.
- Antiinflamatorios. Pacientes que tomen este tipo de fármacos pueden no responder al tratamiento con el láser de baja intensidad. En el caso de necesitar irradiar al paciente y éste deba tomar antiinflamatorios por dolor agudo, se le recomendará la combinación de hielo en zona inflamada con el uso del láser.
- Epilepsia. Cuidado especial con pacientes con esta enfermedad cuando se trata zonas del cuello y de la cabeza. El modo pulsado puede afectar más, sin embargo no es nuestro caso. Ahora bien, en nuestro estudio al tratar el interior de la cavidad oral se puede cubrir el área que está siendo tratada con una toalla.
- Pacientes portadores de clavos o alfileres metálicos, placas metálicas, prótesis de polímero y marcapasos cardíaco e implantes. A diferencia

de otros láseres de diferente longitud de onda, el que hemos utilizado para el estudio no está contraindicado y puede utilizarse con toda tranquilidad ya que una de sus principales características es que no es térmico. De este modo en nuestro estudio, incluso colocando el disyuntor que está compuesto de resina y aleaciones de metal, puede hacerse uso de la luz y entrar en contacto directo con estos materiales y no provocar aumento de la temperatura.

- Tatuajes, lesiones pigmentadas y otros tejidos pigmentados. Pigmentos oscuros, tales como los tatuajes, tinta de rotulador, melanina y otros pigmentos naturales o artificiales pueden absorber ligeramente la longitud de onda. Si se utiliza un alto poder de densidad la absorción en la zona pigmentada puede aumentar y dar pie a un calentamiento localizado, y subsecuentemente incomodidad o lesión de la zona irradiada. En la zona que vamos a trabajar existe poca probabilidad de que existan áreas grandes pigmentadas. Si se da el caso, se suprimirá el punto de irradiación o se intentará irradiar una zona cercana y se testará sobre el paciente las molestias que se producen.

2.2.2.7. Información del dispositivo y parámetros de irradiación y de tratamiento.

Para poder reproducir una investigación se requiere un detallado y completo informe de la técnica y parámetros de tratamiento utilizados en cada caso. Con el fin de evitar errores de interpretación y porqué la combinación de los parámetros dan lugar a dosis diferentes, se ha utilizado un formato de tabla recomendado para poder explicar y hacer comprender al lector un estudio y para que ese estudio sea reproducible (Jenkins y Carroll 2011). En primer lugar se definirá las características del dispositivo láser utilizado en este estudio y a continuación la definición de los parámetros.

a. Información del dispositivo Thor-LX2.

Según Jenkins & Carroll se debe facilitar la siguiente información:

- Fabricante: Thor International Ltd.
- Modelo: THOR Photomedicine Ltd., Amersham Bucks HP5 1LF, UK). (figura 2.27)
- Número de emisores: 1.
- Medio laser: Ga Al As
- Sistema de descarga: Light guide

Se trata de un láser de Clase 3B y por lo tanto es potencialmente dañino para los ojos. Los requerimientos de seguridad para este láser según International Electrotechnical Commission son los recomendados por la

certificación IEC 60825-1:1993+A1:1997+A2:2001, y se exige los siguientes requisitos:

- Llave de seguridad que nunca debe dejarse insertada en la consola cuando esta no esté en funcionamiento.
- Autorizado a usarse en zonas de seguridad claramente señalizadas con señales de advertencia y peligro.
- El operador debe controlar las zonas de seguridad y debe asegurarse que el paciente, los observadores y el mismo lleven colocadas las gafas de seguridad apropiadas y que la puerta esté cerrada. Para este estudio se requerirá unas gafas *DIR 660-665 L4* según *EN207* o *ANSI 633-700 OD3+*.
- No se debe tratar directamente el ojo, zonas próximas al ojo y este no debe ser irradiado por un reflejo a la hora de irradiar una superficie cutánea.

Además, Thor cumple con la premisa *0120* de la CE y con los estándares *21 CFR 1002.10* y *21 CFR 1040.10* del FDA.



Figura 2.27. A Consola B Láser.

b. Parámetros de irradiación y de tratamiento.

Según la combinación de parámetros como la longitud de onda del aparato láser, el total de energía liberada, la frecuencia, la dosis y las propiedades ópticas de los tejidos a irradiar están directamente relacionados con la respuesta celular a la terapia láser (Takeda 1988).

Los parámetros de irradiación son los siguientes:

- Longitud de onda. Actualmente, la mayoría de dispositivos láser que se comercializan están caracterizados o bien por una longitud de onda próxima a la banda infrarroja (790 – 1064 nm) o longitudes de onda asentados en el espectro de luz visible (635 – 685 nm). El láser infrarrojo

tiene un bajo coeficiente de absorción en la hemoglobina y el agua, y por consiguiente, una alta profundidad de penetración en los tejidos.

- Modo de operar. Puede ser pulsado o continuo. El pulsado tiene mayor capacidad de penetración que el continuo y al tratarse de una pulsación de luz láser debe coincidir con un fenómeno pulsátil del organismo.
- Beam área. Se expresa en cm^2 y es de vital importancia para calcular la dosis y el tiempo de tratamiento. La profundidad a la que se encuentra la lesión también condicionará su elección. Se aconseja que es mejor tratar áreas pequeñas y más intensamente en una primera sesión. A continuación se tratará zonas próximas a la zona a tratar (áreas grandes) y durante periodos prolongados de tiempo.
- Potencia de radiación media. Su unidad de medida es el mW y es importante para calcular la dosis. En teoría cuanto más grande es la potencia de un láser, mayor capacidad tiene para alcanzar el objetivo marcado (dosis que se quiere administrar). A mayor potencia, mayor capacidad de penetración y por lo tanto es un punto a tener en cuenta a la hora de tratar ciertos tipos de lesiones.
- Irradiancia (I) en el objetivo diana "target". Se trata de la intensidad de la luz y se puede entender como la potencia de luz por unidad de área. Su expresión es la siguiente:

$$I = \frac{P}{A}$$

en donde P expresa Potencia (output), A el área a irradiar y su unidad de medida es en mW/cm^2 . De manera que el área es inversamente proporcional a la I e indica que cuanto menor sea la superficie que se ilumina, mayor será la intensidad de la luz. Una intensidad alta será importante para tratamientos en el que se realizan cortes y se recomienda que el área de irradiación no sea demasiado grande ya que la penetración de la luz no sería lo suficientemente potente como para fotobiomodular o ser captada por los foto-receptores de las células.

- Beam Shape. La apertura o superficie de cristal por la cual sale la luz se mide en milímetros (diámetro) y se debe indicar la forma del cristal o final de sonda. Cabe decir, que la intensidad no es la misma en todas las partes de la apertura y que tiende a ser más concentrada en la parte central.

Los parámetros de tratamiento son los siguientes:

- Duración de la exposición. Los efectos bioestimulantes del láser se rigen por la ley de Arndt-Schulz, en la que unos estímulos débiles pueden producir una actividad fisiológica y estímulos fuertes pueden retarda o incluso inhibir la actividad. El intervalo de aplicaciones dependerá de la

experiencia de cada clínico pero es recomendable realizar de 3 a 4 aplicaciones a la semana con baja dosis que altas dosis en pocas sesiones. Procesos agudos como un Herpes zoster puede ser tratado a baja dosis cada día, mientras que en procesos crónicos como inflamaciones crónicas se debe espaciar las aplicaciones. Debe tenerse en cuenta que la irradiación tiene un efecto acumulativo, es decir, que una parte de la dosis administrada puede acumularse en la siguiente irradiación. Por lo tanto intervalos cortos pueden acumular una gran dosis remanente y exceder el rango de dosis bioestimuladora, alcanzando el rango de inhibición o biosupresión. Autores como Marquezan et al. han demostrado mediante estudios in vitro como un exceso de dosis puede inhibir la expresión de colágeno inmaduro (Marquezan et al. 2010), mientras que Abergel et al. mediante dosis pequeñas administradas periódicamente demostraron como aumentaba el cultivo de fibroblastos (Abergel et al. 1987). En la figura 2.28 se puede apreciar el efecto de diferentes dosis para curar una úlcera según la ley de Arndt-Schulz.

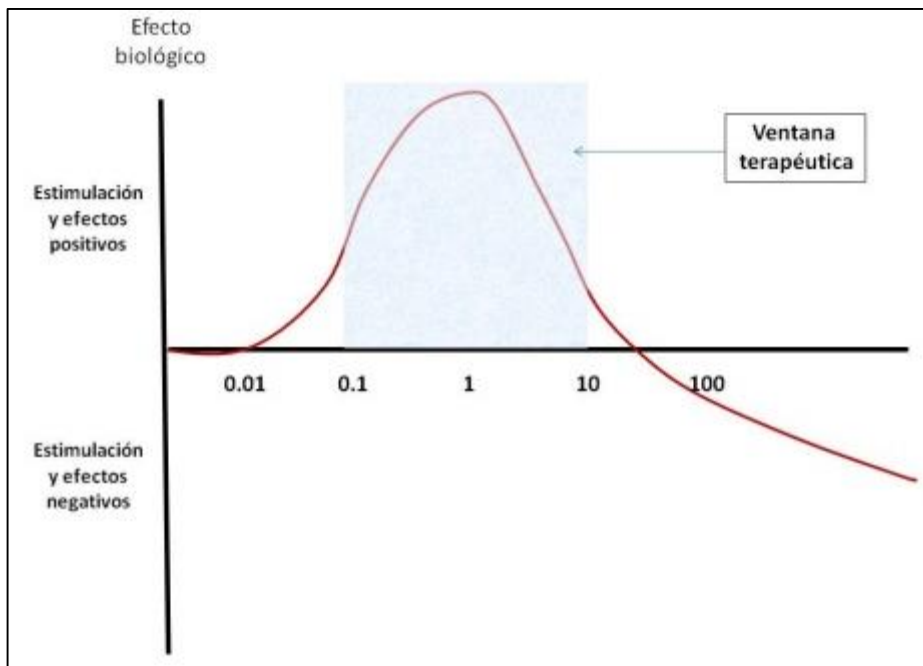


Figura 2.28. Según la ley de Arndt-Schulz, a partir de 0.01 J/cm² hasta 10 J/cm² se produce un efecto estimulador para una úlcera. A partir de 10 J/cm² se produce un efecto supresor.

- Energy por punto. Se calcula en base a la relación establecida entre la potencia del láser y el tiempo y un área de 1 cm², con la siguiente expresión:

$$\text{Energy} = \frac{Pxt}{1 \text{ cm}^2}$$

En donde P es la potencia/output media del aparato, t se cuantifica en segundos, el área determina 1 cm² y el valor de medida es el J.

- Energy density por punto. Se trata del parámetro más importante y se conoce como la dosis siendo la cantidad de energía administrada a la superficie de un área de un tejido. Se expresa de la siguiente manera:

$$D = \frac{Pxt}{A}$$

En donde P es la potencia del dispositivo láser, t es la duración del tratamiento, A es el área a irradiar y sus unidades son J/cm².

- Total Energy. Es la suma de Energy density de todos los puntos aplicados en una única sesión.
- Número de puntos irradiados y técnica de aplicación. Dependerá de la superficie a tratar, si es localizada o bien una superficie grande. Para estas últimas los terapeutas pueden utilizar una técnica de barrido, a modo de escáner o por puntos (spots). Pero lo importante no es saber la dosis que se administra, sino la cantidad de Joules que han captado las células. En el caso de tratar zonas localizadas, el terapeuta puede optar por irradiar a distancia con un pequeño colimizador, a distancia con una sonda que diverja la luz, en contacto con la piel o bien optar irradiar contactando la sonda con presión. Esta última técnica de aplicación es común cuando se quiere aumentar la profundidad de penetración. Al realizar una presión con la sonda sobre el tejido, la sangre de esta se desplaza hacia los tejidos adyacentes y por lo tanto, componentes como la hemoglobina entre otros que son los causantes de la absorción de la luz, se eliminan de la zona y la luz puede seguir mejor su camino.

2.3. Instrumentos – registros.

2.3.1. Cone Beam Tomography Computerized (CBCT) - Kodak 9000C/3dCeph.

En los últimos años, gracias a la reducción en radiación y en coste, ha habido una introducción de unidades CBCT dedicadas a la imagen maxilofacial, lo cual ha aumentado las aplicaciones de diagnóstico para procedimientos dentales, disminuyendo la gran cantidad de radiación que se recibía con los escáneres médicos (Tsilkakis et al. 2005). Teniendo en cuenta que la dosis efectiva es la mínima cantidad de radiación necesaria para obtener una imagen de calidad, se puede conocer la dosis absorbida por el paciente si es multiplicada por un factor (según la cantidad de tejido en el campo visual del haz y basado en su sensibilidad a la absorción de rayos X). Las dosis absorbidas por el tejido u órgano son sumadas para determinar la dosis efectiva. Las comparaciones se pueden realizar con respecto a la radiación natural, es decir, con la recibida por la luz del día. Los tejidos u órganos usados para calcular las dosis efectivas son especificados por la Comisión Internacional de Protección Radiológica (CIPR). En un estudio reciente, se ha comparado la dosis efectiva de 8 CBCT con una unidad 64-slice multidetector de Tomografía computarizada (MDTC). La dosis efectiva según CIPR de 2007 para un protocolo dental estándar ha sido de 1.5 a 12.3 veces mayor en el MDCT. Por ello se concluye que el CBCT dental puede ser recomendado como una técnica con dosis controlada de radiación (dose-sparing technique) en comparación con los escáneres de TC para tareas comunes de radiografía oral y maxilofacial (Ludlow y Ivanovic 2008).

2.3.1.1. Obtención de imágenes con el CBCT.

a. Funcionamiento.

El principio básico es la obtención de imagen por la realización de múltiples radiografías a la vez desde distintos ángulos por parte del tomógrafo. Estas imágenes son reunidas por una computadora y las transforma en una sola tridimensional, denominándose este proceso método de exploración o *scanning*. El generador de rayos X del tomógrafo emite una radiación que pasa a través de la zona de interés del paciente (*región of interest-ROI*). La intensidad de esta es medida por un detector, de modo y manera que si se conoce la intensidad emitida y la recibida por el detector, se puede calcular la porción de energía absorbida que es proporcional a la densidad atravesada. A medida que el emisor del haz va variando de ángulo, el detector lo va acompañando y se va sumando cada una de las imágenes hasta dar una vuelta que va desde los 180° a los 360° según el aparato. En el MDCT la

radiación se emite en forma espiral mientras que en el CBCT se obtiene de manera cónica. Una de las diferencias entre el CBCT y el MDCT es precisamente la forma de emitir el haz de rayos. El MDCT utiliza un haz en espiral y es colimado, estrecho y en forma de abanico y un aro lineal de detectores. Por lo tanto, el paciente necesita ser movido continuamente por la mesa mientras el haz de rayos X gira a su alrededor, mientras que el CBCT es cónico y con una sola secuencia rotacional se adquiere suficientes datos para la reconstrucción de la imagen. Lo cual permite un examen rápido, reducción de falta de agudeza de imágenes y de la distorsión causada por los movimientos internos del paciente.

b. Visualización.

Mientras en el MDCT se muestran cortes consecutivos, en el CBCT los datos son procesados por un computador que crea una reconstrucción del volumen estudiado tridimensional. Este volumen denominado matriz está compuesto por la intersección de los planos abscisas y ordenadas (X e Y) siendo ésta la base a partir de la cual se forma elementos contiguos de figuras geométricas con tamaños preestablecidos que corresponden a los elementos gráficos que dan forma a la imagen. La unidad mínima de la matriz es el pixel (*picture element*) y varias son las características a tener en cuenta de este concepto. La forma es cuadrada y es la unidad básica de la imagen digital. El color varía por presentar el cuerpo humano diferentes tejidos con diferentes densidades y por consiguiente diferentes coeficientes de absorción. El procesador aplica una fórmula para cada atenuación de absorciones y reconstruye una matriz de números a los cuáles les asigna una tonalidad de gris, denominada unidades Hounsfield (UH). Por último la calidad de la imagen depende del tamaño del pixel y de la cantidad, siendo una imagen con gran calidad aquellas que presenten una mayor cantidad de píxeles. Tal y como expresan Brown et al. en su estudio, las medidas CBCT son consistentes y reales, existiendo una correlación entre la medición en el escáner y la mediciones directas sobre un objeto a analizar (Brown et al. 2009).

Para entender estos conceptos se debe definir el concepto vóxel (*volumetric pixel*) que es la representación por cálculos volumétricos del pixel y es la unidad mínima procesable. Por ello, se puede decir que un vóxel tiene la forma de cubo perfecto siendo isotrópico, presenta una tonalidad de gris (UH) y su tamaño determinará la calidad de la imagen. En odontología la unidad mínima requerida es de 0,5 mm por cada uno de los lados. Por último, comentar que la escala Hounsfield es una representación cuantitativa de la radiodensidad de los tejidos y se caracteriza por clasificar una escala de colores del blanco (+1000) al negro (-1000) pasando por todas las tonalidades de grises. Normalmente el punto central equivale a 0 y es el agua siendo una composición de 50% blanco y 50 % negro.

2.3.1.2. Características del CBCT.

El equipo se puede caracterizar en función de las siguientes características:

- Posicionamiento del paciente. Los pacientes, en el momento de obtener los volúmenes de la región maxilofacial, están de pie. Esto le otorga al aparato la posibilidad de tener un tamaño más reducido y más versatilidad en cuanto a la posibilidad de poder irradiar en pacientes sentados en silla de ruedas o bien discapacitados.
- Funcionalidad clínica. El aparato que se ha utilizado es un sistema multimodal híbrido que combina la radiografía panorámica digital con un sistema CBCT.
- Volúmen de adquisición. Depende de la forma y del tamaño del sensor, de la geometría del haz cónico de radiación y de la habilidad del sensor en la colimación del haz. El volumen adquirido puede ser esférico o cilíndrico y en base a la relación entre la altura y diámetro del volumen adquirido el equipo a su vez se puede clasificar en:
 - Localizados o de campo reducido. Aproximadamente 5 cm o menos.
 - Arco individual (5 a 7 cm).
 - Inter arcada (7 a 10 cm).
 - Maxilofacial (10 a 15 cm).
 - Cráneo-facial (más de 15 cm).

Para analizar la sutura anterior y media palatina se utiliza un CBCT localizado de 5 cm por lado.

Una de las características más relevantes que otorga el aparato CBCT Kodak 9000 es la dimensión de su vóxel. Es decir, a menor área de adquisición de volumen, mayor resolución espacial de la imagen, siendo gran importancia para la valoración ósea de la sutura ósea.

En la tabla 2.6 se resume las características del aparato y se compara con otro de campo medio y campo grande.

Tabla 2.6. Comparativa de aparatos CBCT con diferentes tamaños de visualización.

Unidad	Fabricante	Tamaño máximo FOV	Tamaño mínimo Vóxel	Opciones 2D	No de imágenes	Tiempo de escaneo	Tiempo de reconstrucción
Kodak 9500	Kodak Dental Systems	18x21cm	0,2 mm	Panorámica lateral	300-700	-	2,2 min
GXCB-500	Gendex	8x14 cm	0,125 mm	Panorámica	160-306	8,9-23 s	20-95 s
9000C 3D/Ceph	Kodak Dental Systems	3,7x5 cm	0,076 mm	Panorámica lateral	360	13,9 s	< 2 min

A destacar en la tabla la diferencia de vóxel entre aparatos. Además, el aparato Kodak 9000C 3D/Ceph es uno de los aparatos con vóxel más reducido dentro de los aparatos de Campo de visión pequeño si se compara con otros del mercado (3D Accuitomo, J. Morita – 0,125 mm / PaX-500 ECT, VATECH – 0,186 mm / ORION RCB-888, Ritter Imaging – 0,1 mm).

- **Dosis absorbida.** La dosis absorbida es la cantidad de energía aplicada a una cierta cantidad de masa medida en Gray. Si la dosis absorbida se multiplica por un factor de calidad Q (que en el caso de los rayos X es igual a 1), se obtiene la dosis equivalente en Sieverts (Sv), que representa la cantidad de energía en un punto específico (Wrixon 2008). En el gráfico de la figura 2.29 se puede apreciar las diferentes dosis equivalentes en función de las proyecciones de un equipo CBCT y la dosis de un MDCT al irradiar maxilar y mandíbula.

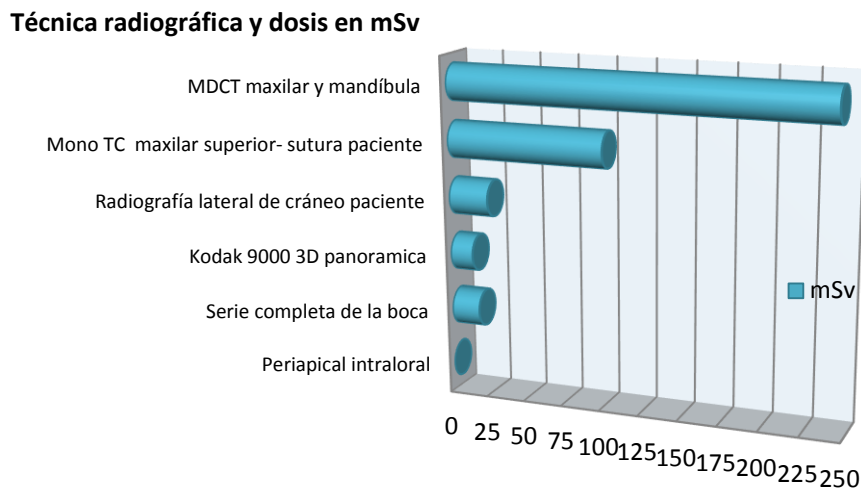


Figura 2.29. Dosis equivalente de diferentes técnicas radiográficas.

2.3.2. Registro de tensión.

Los elementos básicos necesarios para registrar la tensión son las galgas extensiométricas que captan la deformación del aparato y la transforman en señal y una computadora que capta dicha señal y la transforma en unidades de tensión. Esas unidades se envían a una computadora para su lectura y archivado.

2.3.2.1. Model D4 Data Acquisition Conditioner.

Para transmitir la presión que ejerce las estructuras craneales como resistencia a la expansión del disyuntor se ha utilizado un instrumento diseñado para esta finalidad. Se seleccionó el modelo D4 Data Acquisition Conditioner de Micro-Measurements® Raleigh, USA (versión 1.32) (Figura 2.30). El modelo D4 es un acondicionador de información adquirida portátil (alimentado

por USB), un instrumento de precisión utilizado en combinación con galgas extensiométricas de tensión y basado en el sistema de transductores de galgas de tensión. La información que capta la galga se transmite a través de un cable al modelo D4 y éste la transforma en valores de microstrain ($\mu\epsilon = \times 10^{-6}$), en este caso $\mu\epsilon$ o mV/V. A través de un cable USB se puede valorar esa información expresada en $\mu\epsilon$ en el ordenador portátil que tiene instalado el software de este modelo D4.

El modelo D4 tiene 4 canales de adquisición de datos. La conexión a cada canal es vía conector RJ-45. Cada canal de entrada acepta una configuración de puente completo, medio o bien de un cuarto. Con el modelo se suministran todos los componentes de terminación de puentes para 120-, 350- y 1000-ohm. Las operaciones del Modelo D4 se realizan con comandos enviados vía conexión USB. Se utilizó una aplicación software específica para recibir los datos en un computador personal MS-Windows que transcribe las señales traducidas por el modelo. El modelo D4 utiliza una tecnología de procesado de señales provisto de eliminación de ruidos y de estabilidad. Además, presenta unas escalas propias y un sistema de algoritmos lineales que permiten una medición precisa.



Figura 2.30 Modelo D4 Data Acquisition Conditioner

2.3.2.2. Galga extensiométrica.

La deformación unitaria (Strain - ϵ) es la cantidad de deformación de un cuerpo debido a una fuerza aplicada. Más específicamente, la deformación unitaria se define como el cambio fraccionario en longitud, según lo demostrado en la figura 2.31. La tensión puede ser positiva (extensible) o negativa (compresiva). Aunque es adimensional, la tensión se expresa a veces en unidades tales como in/in o mm/mm. En la práctica, la magnitud de tensión medida es muy pequeña. La tensión se expresa a menudo como microstrain ($\mu\epsilon$).

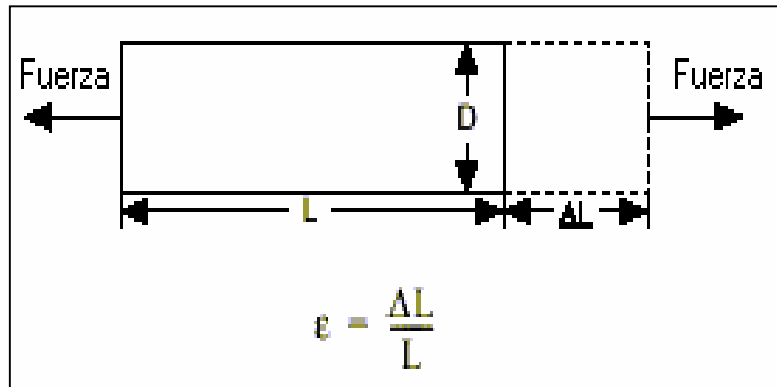


Figura. 2.31. Esquema explicativo de la deformación de un cuerpo (proporción entre la longitud original y el aumento de longitud al verse sometido a una fuerza externa).

En el estudio se quiere valorar la tensión que se genera en la zona del disyuntor más sensible a las cargas y se utiliza un captador de señales llamado strain gauge (galga extensiométrica). Este es un dispositivo con una resistencia eléctrica que varía en proporción a la deformación producida y la galga utilizada en el estudio es de tipo metálica consolidada. En concreto, la galga metálica consiste en un fino alambre u hoja metálica dispuesta en un patrón de rejilla. El patrón de rejilla maximiza la cantidad de alambre metálico conforme a la tensión en la dirección paralela (Figura 2.32). La rejilla se enlaza a un forro fino, llamado el portador, que se une directamente al espécimen de la prueba. Por lo tanto, la deformación experimentada por el espécimen de la prueba se transfiere directamente a la galga extensiométrica, que responde con un cambio lineal en resistencia eléctrica. Las galgas de tensión están disponibles comercialmente con valores nominales de la resistencia desde 30 hasta 3000 ohms, siendo 120, 350, y 1000 los valores más comunes en el mercado. El modelo D4 es capaz de detectar como se ha comentado anteriormente estos tres valores y para el registro de la deformación de los brazos del disyuntor se utilizará el valor de 120 teniendo según el paquete una desviación de la resistencia eléctrica de entre un 0.6 a un 0.8%. Es muy importante que la galga extensiométrica esté montada correctamente sobre el espécimen de la prueba. Un parámetro fundamental de la galga de tensión es su sensibilidad a la tensión, expresado cuantitativamente como el factor de galga (FG). Se define el FG como el cociente del cambio fraccionario en resistencia eléctrica al cambio fraccionario en la longitud (tensión). El FG para las galgas extensiométricas metálicas es típicamente alrededor 2.

Además, se trata de una galga uniaxial, es decir, que mide en una única dirección. La deformación medida es la deformación normal en la dirección longitudinal del brazo. Aunque el objetivo no es obtener medidas ultraprecisas, si que se pretende obtener resultados reales y por lo tanto la galga adherida tiene que estar alineada con el brazo del disyuntor.

2.3.2.3. Medición en Strain Gauge.

En la práctica, las medidas de la deformación unitaria implican raramente cantidades más grandes que algunos milistrain ($m \times 10^{-3}$). Por lo tanto, medir la deformación requiere la medida exacta de cambios muy pequeños de resistencia. Un ejemplo práctico sería el siguiente:

“Se experimenta una deformación de $500 \mu m$. Si la galga de tensión tiene un FG de 2, se exhibirá un cambio en resistencia eléctrica de solamente $2 (500 \times 10^{-6}) = 0,1\%$. Para una galga de 120 omhs, éste es un cambio de solamente $0,12 \text{ omhs}$ ”.

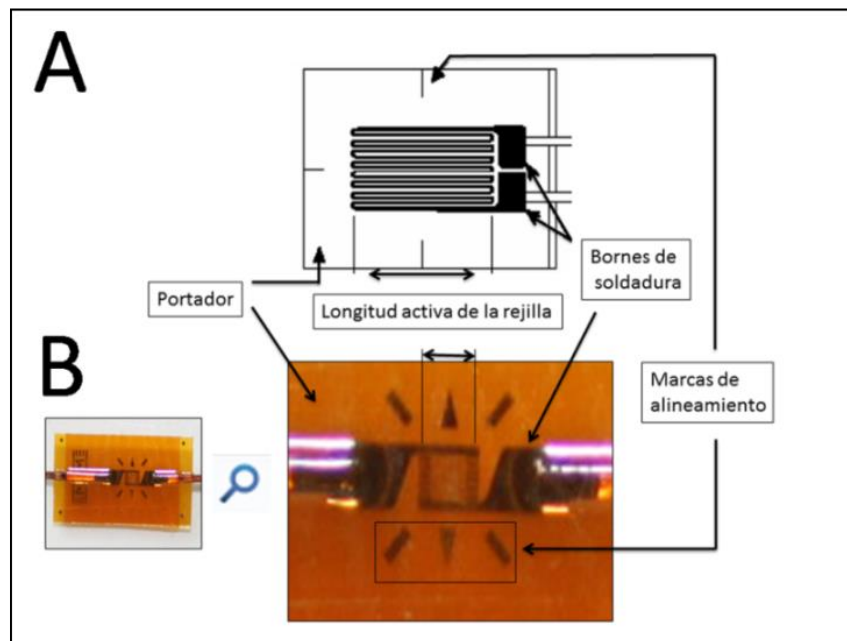


Figura 2.32. A Esquema de una galga extensiométrica. Obsérvese las hojas metálicas (longitud activa de la rejilla) dispuestas sobre el portador y que están conectadas a los bornes. B se observa una imagen de la galga utilizada para el estudio. En este caso el portador es una fibra polimérica de color naranja y la rejilla está soldada a los bornes en dirección enfrentada. De los bornes salen unos filamentos que se sueldan al receptor RJ-45.

Es por ello que a través del FG de cada uno de los paquetes multiplicándolo por el factor que nos ha dado el dispositivo galga se puede reproducir cuanto se ha deformado el brazo del disyuntor a lo largo de toda la fase activa y de retención.

En la figura 2.33 se puede observar la parte posterior del paquete que contiene las galgas en donde se etiqueta la calibración de esas galgas en concreto. Cada paciente tiene asignado un código de galga ya que se utilizaron datos del paciente para comparar con el método de elementos finitos desarrollado previamente.

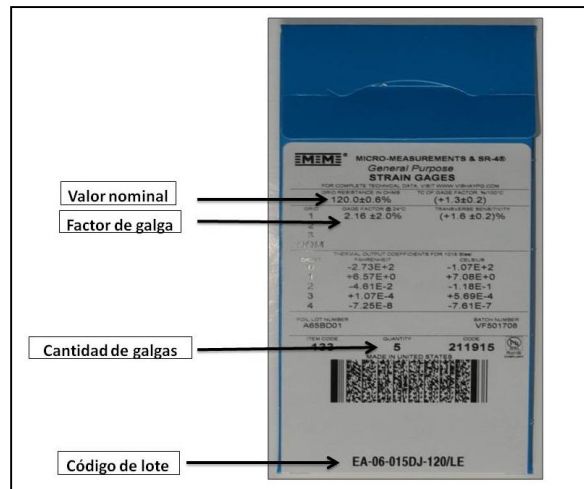


Figura 2.33. Información que adjunta el fabricante. A destacar el valor nominal y el FG que indica la capacidad de variar la deformación de la galga.

2.3.3. Modelo elementos finitos (MEF).

2.3.3.1. Introducción breve.

La idea que propone el MEF es la división de un continuo (dominio) en un conjunto de pequeños elementos (subdominios) que en el caso lineal se trata de puntos, en el caso bidimensional de líneas y en el caso tridimensional de superficies imaginarias. Estos elementos están interconectados por una serie de puntos llamados nodos o nudos. (Figura 2.33)

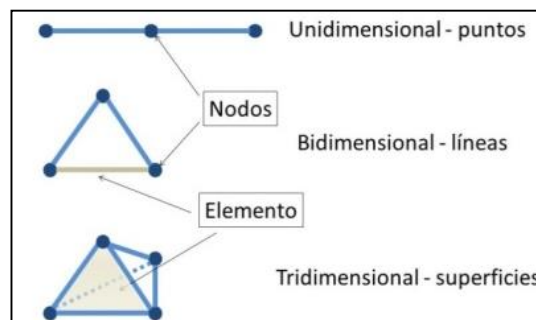


Figura 2.34. Ilustración de los diferentes tipos de subdominios o partes de un continuo.

Sobre estos nodos se materializan las incógnitas fundamentales del problema. Las ecuaciones que rigen el comportamiento del continuo regirán también el del elemento. De esta forma se consigue pasar de un sistema continuo (infinitos grados de libertad), que es regido por una ecuación diferencial o un sistema de ecuaciones diferenciales, a un sistema con un número de grados de libertad finito cuyo comportamiento se modela por un sistema de ecuaciones, lineales o no, y que están relacionadas con un problema de carácter físico o ingenieril. Dicho problema debe estar definido en un espacio geométrico, o dominio, para así ser subdividido en un número finito de regiones pequeñas, formando una especie de red o malla (mesh). Estas

subdivisiones son únicas y no necesariamente deben ser ortogonales (Celigüeta 2011). En la figura 2.34 se puede apreciar la malla de un disyuntor de expansión rápida.

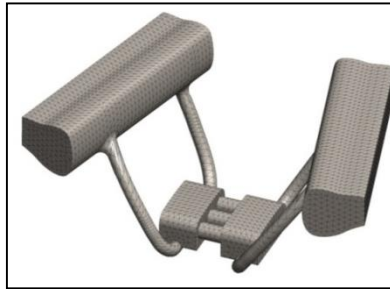
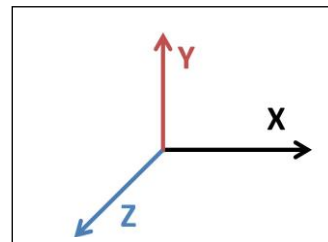


Figura 2.35. Malla de sólido de disyuntor para expansión palatina.

En el caso de elementos estructurales estas incógnitas son los desplazamientos nodales, ya que a partir de éstos se valora el resto de incógnitas que interesen, como pueden ser las tensiones y las deformaciones entre otras. A estas incógnitas se les denomina grados de libertad (Vector δ_e) de cada nodo del modelo. Los grados de libertad de un nodo son las variables que nos determinan el estado y/o posición del nodo y están determinados por (Carnicero 2009 y Celigüeta 2011):

- Desplazamiento en dirección x.
- Desplazamiento en dirección y.
- Giro según z.
- Temperatura.



2.3.3.2. Como definir al material que simula el MEF.

Para familiarizarse con en análisis de las estructuras que realiza MEF, se debe tener en cuenta nociones básicas. Cuando se habla de un continuo o un dominio, se está refiriendo a que las estructuras en la naturaleza se pueden dividir en sistemas discretos o reticulares y sistemas continuos.

Los sistemas discretos están formados por un ensamblaje de elementos claramente diferenciados unos de otros y unidos en una serie de puntos concretos, de tal manera que el sistema total tiene forma de malla o retícula. La característica fundamental de las estructuras discretas es que su deformación puede definirse de manera exacta mediante un número finito de parámetros.

En los sistemas continuos no es posible separar, a priori, el sistema en un número finito de elementos estructurales discretos. Si se toma una parte cualquiera del sistema, el número de puntos de unión entre dicha parte y el resto de la estructura es infinito, y es por lo tanto imposible utilizar el mismo

método que en los sistemas discretos, pues los puntos de unión entre los distintos elementos, que allí aparecían de manera natural, no existen ahora. Un medio continuo tiene infinitas formas posibles de deformarse, independientes unas de otras, ya que cada punto puede desplazarse manteniendo fijos cualquier número finito de los puntos restantes, por grande que sea este último. La configuración deformada de la estructura está definida por una función vectorial \mathbf{u} , que indica cuáles son las deformaciones de cualquier punto, y que tiene tres componentes escalares: (Figura 2.35)

$$\mathbf{u} = \begin{Bmatrix} u(x, y, z) \\ v(x, y, z) \\ w(x, y, z) \end{Bmatrix}$$

Figura 2.36. Función vectorial \mathbf{u} con tres componentes escalares.

En principio no se puede asegurar que esta función \mathbf{u} tenga una expresión analítica manejable y por lo tanto no se podría conocer en general. Para resolver este problema, el MEF recurre a la hipótesis de discretización (Celigüeta 2011).

a. Hipótesis de discretización.

Esta se basa en los siguientes conceptos que se han mencionado anteriormente:

- *Elementos finitos.* División del continuo por medio de líneas o superficies imaginarias en una serie de regiones contiguas y disjuntas entre sí, de formas geométricas sencillas y normalizadas.
- *Nudos o nodos.* Los elementos finitos se unen entre sí en un número finito de puntos.
- Los desplazamientos de los nudos son las incógnitas básicas del problema, y éstos determinan unívocamente la configuración deformada de la estructura.
- Para un desplazamiento de un punto cualquiera, se le definen una función de interpolación que permiten calcular el valor de cualquier desplazamiento interior por interpolación de los desplazamientos nodales.
- Las funciones de interpolación y los desplazamientos nodales definen unívocamente el estado de deformación unitaria en el interior del elemento. Éstas, mediante las ecuaciones constitutivas del material

definen el estado de tensiones en el elemento y por supuesto en sus bordes.

- Para cada elemento, existe un sistema de fuerzas concentradas en los nudos, que equilibran a las tensiones existentes en el contorno del elemento, y a las fuerzas exteriores sobre él actuantes.

Por lo tanto, se puede decir que la hipótesis de discretización es el pilar básico del MEF y que se trata de un método discretizante, de parámetros distribuidos.

Además, se dice que un análisis MEF es convergente, ya que al disminuir el tamaño de los elementos, y por lo tanto aumentar el número de nudos y de elementos, la solución obtenida tiende hacia la solución exacta. Por lo tanto, cuanto más nudos y elementos contenga el MEF, más se acercará los resultados obtenidos a la realidad.

Para comprender los datos que se incorporan al software, que ejecuta y discretiza el continuo en elementos dando lugar al mesh (malla) y valorar su comportamiento, se debe dar unas propiedades mecánicas a dichas estructuras. Se habla de las características elásticas del material.

b. Elasticidad de un material.

La elasticidad estudia la relación entre las fuerzas aplicadas a los cuerpos y las correspondientes deformaciones. Para definir el comportamiento elástico de los materiales utilizados en la expansión maxilar rápida se va a emplear el Módulo de Young (Figura 2.37).

“Si se aplica una fuerza F a una barra de longitud l_0 el material se deforma longitudinalmente y se alarga $l - l_0$. La razón de proporcionalidad entre el esfuerzo (fuerza por unidad de área) y deformación unitaria (deformación por unidad de longitud) está dada por la constante E , denominada módulo de Young, que es característico de cada material”.

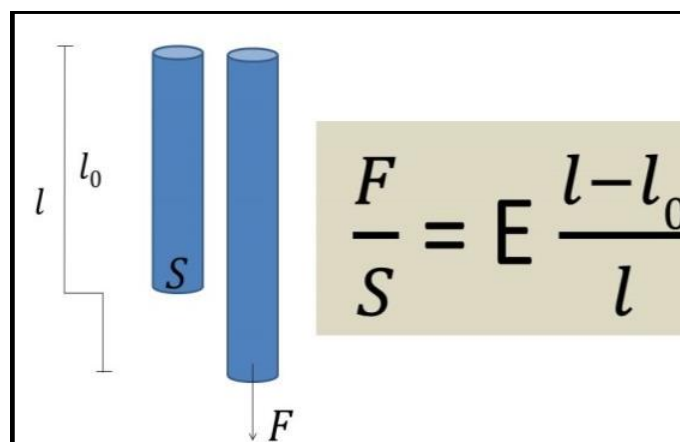


Figura 2.37. Diferencia de longitud de un mismo cuerpo sometido a fuerza y su expresión matemática (Módulo de Young).

Otra característica que se le ha otorgado al material es la isotropía, es decir, “*las propiedades físicas no dependen de la dirección en que son examinadas*” y dentro de dicha característica se le ha otorgado un comportamiento lineal, “*lo que comporta un módulo de Young constante*”.

La Ley de Hooke relaciona la deformación, (strain) ϵ de una barra sometida a esfuerzo axial (Figura 2.37), con la tensión-fuerza normal generada por dicho esfuerzo δ mediante la constante E (Módulo de elasticidad lineal o módulo de Young),

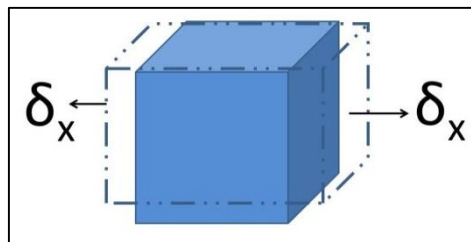


Figura 2.38. Barra sometida a una fuerza axial.

La figura 2.38 expresa la fórmula matemática del módulo de elasticidad longitudinal:

$$E = \frac{\delta_0}{\epsilon_x} = \frac{F_x/A}{\Delta x/x}$$

Figura 2.39. Modulo de Young.

En donde:

- E = Módulo de elasticidad longitudinal.
- δ = Presión ejercida sobre el área de sección transversal del objeto.
- ϵ = Deformación unitaria en cualquier punto de la barra.

Dicha expresión puede resumirse con la ecuación de la figura 2.40:

$$\delta_x = E \cdot \epsilon_x$$

Figura 2.40. Coeficiente Strain-Force (Ecuación resumen del Módulo de Young).

Se trata del coeficiente strain-force. A través de este cálculo, los resultados del análisis lineal de los elementos finitos se utilizarán para definir

los valores de tensión de las galgas extensiométricas. Se trata del grado de libertad de los nodos anteriormente citados, es decir, describe en este caso la tensión-deformación del nodo.

Por lo tanto, cuanto mayor es el módulo de elasticidad, menos deformaciones y por lo tanto mayor será la rigidez del material.

En la tabla 2.7 se puede observar las características elásticas de diferentes estructuras anatómicas orofaciales y de los materiales utilizados en estudios relacionados con la disyunción rápida del maxilar.

Tabla 2.7. Características elásticas de materiales y estructuras anatómicas relacionados con la expansión rápida palatina y el autor y año en el que se definió.

Estructura	Módulo de Young (MPa) =(kg/mm2)	Cociente Poisson	Autores
<i>Hueso compacto</i>	137000 105000	0.3. 0.3	<i>Lee et al. 2009</i> <i>Tepper et al. 2002</i>
Ligamento periodontal	0.050 0.068	0.49 0.49	<i>Tanne et al. 1987</i> <i>Lee et al. 2009</i>
Esmalte	80 350	0.33	<i>Staines et al. 1981</i>
Dentina	19 890	0.31	<i>Staines et al. 1981</i>
Sutura	10	0.49	<i>Verrue et al. 2001</i>
Titanium	113 000	0.33	<i>Verrue et al. 2001</i>
Resina	2000	0.30	<i>Verrue et al. 2001</i>
<i>Hueso canceloso</i>	0.08	0.3	<i>Tepper et al. 2002</i>
<i>Acero inoxidable</i>	206 840	0.3	<i>Verrue et al. (2001</i>
Mucosa palatine	1	0.49	<i>Pan et al. 2007</i>

CAPÍTULO 3

Hipótesis y objetivos

3.1. Hipótesis.	109
3.1.1. Ensayo clínico – Tensión.	109
3.1.1.1. <i>Hipótesis de trabajo.</i>	109
3.1.1.2. <i>Hipótesis nula.</i>	109
3.1.2. Ensayo de laboratorio.	109
3.1.2.1. <i>Hipótesis de trabajo.</i>	109
3.1.2.2. <i>Hipótesis nula.</i>	110
3.1.3. Ensayo clínico – LLLT.	110
3.1.3.1. <i>Hipótesis de trabajo.</i>	110
3.1.3.2. <i>Hipótesis nula.</i>	110
3.2. Objetivos	110
3.2.1. Ensayo clínico – Tensión	110
3.2.1.1. <i>Objetivos principales</i>	110
3.2.1.2. <i>Objetivos secundarios</i>	110
3.2.2. Ensayo de laboratorio	110
3.2.2.1. <i>Objetivo principal</i>	110
3.2.2.2. <i>Objetivo secundario</i>	110
3.2.3. Ensayo clínico – LLLT	111
3.2.3.1. <i>Objetivo principal</i>	111
3.2.3.2. <i>Objetivo secundario</i>	112
3.2.4. <i>Otros objetivos</i>	112
3.3. Objetivos de la revisión bibliográfica	112

Capítulo 3

Hipótesis y objetivos

3.1. Hipótesis.

3.1.1. Ensayo clínico – Tensión.

3.1.1.1. Hipótesis de trabajo.

- Existen diferencias estadísticamente significativas en la tensión acumulada en función de si se ha realizado expansión o no, es decir no ha desaparecido la tensión acumulada tras 75 días de fase de retención (recidiva).
- Existen diferencias estadísticamente significativas en la recidiva de la tensión entre los diferentes biotipos de crecimiento facial.
- Los patrones de tensión acumulada son diferentes según el patrón de crecimiento vertical del paciente.
- Las diferencias encontradas entre los pacientes es debido a la diversidad de maduración esquelética de los niños en función del género.
- Existen diferencias estadísticamente significativas en la tensión acumulada en función de si se ha irradiado o no con láser de baja intensidad.

3.1.1.2. Hipótesis nula.

- No existen diferencias estadísticamente significativas de tensión acumulada entre el hecho de realizar disyunción o no.
- Tras finalizar la fase de retención a los 75 días la recidiva de tensión acumulada no difiere del patrón de crecimiento vertical.
- No existen diferencias estadísticamente significativas en los diferentes tipos de crecimiento facial vertical según el patrón de tensión acumulada.
- El estadio de maduración esquelética según el género de los pacientes no influye en las diferencias encontradas entre los diferentes pacientes.
- No existen diferencias estadísticamente significativas de tensión acumulada por el hecho de irradiar o no con un láser de baja intensidad.

3.2.2. Ensayo de laboratorio.

3.2.2.1. Hipótesis de trabajo.

- Existe diferencias estadísticamente significativas en las fuerzas F1 – F2 en función del biotipo facial.

3.2.1.2. Hipótesis nula.

- No existen diferencias estadísticamente significativas en las fuerzas generadas sobre los molares temporales y permanentes en función del tipo de crecimiento vertical facial.

3.2.3. Ensayo clínico – LLLT.

3.2.3.1. Hipótesis de trabajo.

- Existe diferencias cualitativas y cuantitativas en los hallazgos radiológicos de la sutura maxilar entre los pacientes irradiados y los pacientes placebo.

3.2.3.2. Hipótesis nula.

- No se han hallado diferencias estadísticamente significativas entre los hallazgos radiológicos de la sutura maxilar en función de si se ha irradiado o no con láser de baja intensidad.

3.2. Objetivos

Se va a describir los objetivos principales de cada una de las partes del trabajo y los objetivos secundarios con el fin de realizar el contraste de hipótesis.

3.1.1. Ensayo clínico – Tensión.

3.1.1.1. Objetivos principales.

- Establecer patrones de tensión acumulada en diferentes partes de un aparato de ERP y relacionarlos con los diferentes patrones de crecimiento vertical.

3.1.1.2. Objetivos secundarios.

- Calcular la localización ideal de la galga extensiométrica, en donde se exprese mejor la deformación del aparato de ERP tras ser sometido a una fuerza, mediante un MEF.
- Calibrado de los ortodoncista en la clasificación VERT.

- Clasificar a los pacientes según su patrón de crecimiento facial vertical a través del estudio de cefalometrías realizadas por examinadores calibrados entre sí.
- Estudiar la cantidad de tensión que se disipa en los brazos del disyuntor durante la fase de retención en función del patrón de crecimiento.
- Realizar una evaluación de la maduración esquelética utilizando la imagen cefalométrica de las vértebras cervicales.
- Valorar la relación existente entre el hecho de ser irradiado y la disipación de tensión.

3.1.2. Ensayo de laboratorio.

3.1.2.1. Objetivo principal.

- Desarrollar y validar mediante una combinación de galgas extensiométricas y un modelo de elementos finitos el comportamiento de esfuerzos (fuerzas que reciben el aparato) de diferentes pacientes que reciben el mismo protocolo de activación y compararlo según su patrón de crecimiento vertical.

3.1.3.2. Objetivo secundario.

- Desarrollar un MEF de un aparato de ERP que sea capaz de predecir la tensión acumulada en diferentes partes cuando se les aplica unas determinadas fuerzas.
- Registrar la tensión acumulada de un aparato ERP, realizado con las mismas características que el utilizado en la fase clínica, que es sometido a una fuerza y que se ubica en una platina motorizada XY.

3.1.3. Ensayo clínico – LLLT.

3.1.3.1. Objetivo principal.

- Comparar cualitativamente toda la sutura media maxilar en el plano axial, tras haber realizado una ERM entre un grupo de pacientes irradiados con láser de baja densidad y un grupo placebo, con la ayuda de imágenes obtenidas por CBCT.
- Estudiar cómo evoluciona la distancia conseguida tras la expansión desde el fin de la fase de expansión hasta los 75 días de retención en los dos grupos y compararlos entre sí.

- Evaluar la eficacia de LLLT en la reparación de la sutura maxilar mediopalatina tras una ERM.

3.1.3.2. Objetivo secundario.

- Calibrado de los radiólogos examinadores para poder realizar un análisis cualitativo y cuantitativo de los aspectos anatómicos de los pacientes a lo largo de la sutura medio del maxilar.
- Definir es aspecto de la sutura a los 75 días en función de las zonas anatómicas de la sutura que se han aproximado (que no existe evidencia de la separación realizada con la ERP).

3.1.4. Otros objetivos.

Al disponer de datos de diferentes análisis (medidas de tensión y hallazgos radiológicos) se establece el siguiente objetivo:

- Estudiar la relación existente entre la distancia máxima anterior y la tensión acumulada para cada uno de los pacientes tras la disyunción y después de 75 días de retención fija.

3.3. Objetivo de la revisión bibliográfica.

- Organizar la literatura publicada existente de acuerdo al movimiento dentario en un tratamiento ortodóntico cuando se aplica terapia laser de baja intensidad.

CAPÍTULO 4

Material, sujetos y métodos

4.1. Diseño del estudio	121
4.1.1. Muestra-Criterios de inclusión y exclusión.	121
4.1.1.1. Randomización	121
4.1.1.2. Muestra	121
a. Criterios inclusión	121
b. Criterios exclusión	122
c. Contraindicaciones	122
4.1.2. Proceso de reclutamiento	122
4.1.3. Cálculo de la muestra	123
4.1.4. Contexto, datos demográficos y epidemiológicos	123
4.1.4.1. Contexto	123
4.1.4.2. Datos demográficos	123
4.1.4.3. Datos epidemiológicos	124
4.1.5. Variables principales	124
4.1.5.1. Variables características paciente	124
4.1.5.2. Variable relacionadas con el estudio de la tensión	125
4.1.5.3. Variables relacionadas con el análisis de elementos finitos	125
4.1.5.4. Variables de los hallazgos radiológicos tras aplicar láser	126
4.1.6. Instrumentos	127
4.1.6.1. Historia clínica y modelos de yeso	127
4.1.6.2. Ortopantomografía y telerradiografía	127
a. Patrón de crecimiento facial según Ricketts (VERT)	127
b. Calibración inter-examinador	128
c. Índice de maduración de la vertebras cervicales (IMVC)	128
4.1.6.3. Proyección CBCT	130
a. Dosis absorbida en nuestros pacientes	130
b. Estudio de los cortes axiales	130
b1. Estudio cualitativo	131
b2. Estudio cuantitativo	134
b3. Calibración inter-examinador	137
b4. Estado de la sutura a los 75 días de retención fija	137
4.1.6.4. Registrador de la deformación unitaria	138
a. Conexión galga – pin conector – modelo D4	138
b. Montaje de las galgas en el disyuntor	140
c. Medidas para asegurar la posición exacta entre exposiciones	143
4.1.6.5. MEF	144
a. Ubicación ideal de la galga como resultado del MEF. (Objetivo 1)	145
a1. Justificación del MEF para el emplazamiento de la galga.	150
a2. Validación del AEF (localización galga).	151
b. Esquemas e instrumentos para la Validación de la ERM. (Objetivo 2)	151
4.2. Procedimiento clínico	158
4.2.1. Cronograma	158
4.2.1.1. Fase de reclutamiento	158
4.2.1.2. Fase activa	158
4.2.1.3. Fase retención	158
4.2.1.4. Fase control a corto-medio y largo plazo	159
4.2.2. Protocolo de activación del disyuntor	159
4.2.3. Protocolo de irradiación LASER – (Parámetros de la aplicación)	160
4.2.3.1. Parametros de irradiación	161
4.2.3.2. Parámetros de tratamiento	161

a. Técnica empleada	162
4.2.4. Criterio para controlar la recidiva	163
4.3. Análisis de los datos	163
4.3.1. Análisis descriptivo	163
4.3.2. Análisis inferencial – Contraste de hipótesis	164
4.3.2.1. <i>Relación entre las variables características paciente</i>	164
a. <i>Homogeneidad de las muestras</i>	164
4.3.2.2. <i>Relación entre las variable relacionadas con el estudio de la tensión</i>	164
a. Análisis de la diferencia de tensión entre el momento T2 y T7	164
b. Análisis de la relación entre los momentos T1-T7, brazos A y B y tipo de patrón de crecimiento vertical	164
c. Análisis de la disipación de tensión	165
d. Análisis de la recidiva	165
4.3.2.3. <i>Relación entre las variables relacionadas con el análisis de elementos finitos</i>	165
4.3.2.4. <i>Relación entre las variables de los hallazgos radiológicos tras aplicar Láser</i>	165
a. Análisis de la distancia intrasutura	165
b. Análisis de las variables cualitativas	165
4.3.2.5. Análisis de la concordancia entre examinadores	165
4.4 Medidas para suspender el tratamiento	166
4.4.1. Dificultades y limitaciones	166
4.4.2. Tratamiento alternativo de los pacientes excluidos	167
4.4.3. Reacciones adversas del láser de baja intensidad	168
4.4.4. Póliza de seguro	168
4.5. Pautas éticas	168
4.5.1. Declaración de compromiso	168
4.5.2. Beneficio de la investigación para los pacientes	169
4.5.3. Consentimiento informado	169
4.6. Diseño de la revisión bibliográfica	170
4.6.1. Estrategia de búsqueda	170
4.6.1.1. <i>Criterios de inclusión y exclusión</i>	171
4.6.2. Limitaciones de la revisión bibliográfica	171
4.6.2.1. <i>Criterios de inclusión</i>	171
4.6.2.2. <i>Criterios de exclusión</i>	172

Capítulo 4

Material, sujetos y métodos

4.1. Diseño del estudio

4.1.1. Muestra-Criterios de inclusión y exclusión.

Se realizó un ensayo clínico controlado en donde la asignación de los individuos en cada grupo fue aleatoria.

4.1.1.1. Randomización.

Se realizó una asignación aleatoria simple utilizando una tabla de números aleatorios de 2 grupos. Para el tratamiento irradiado se utilizó la letra A (siendo los números impares) y para el grupo placebo se utilizó la letra B (números pares), el objetivo era de que cada grupo tuviese el mismo número de individuos. Tabla 4.1.

Tabla 4.1. División equilibrada cada 2 individuos en donde A es el grupo irradiado y B es el grupo placebo. P (Permutación), Tto. (Tipo de tratamiento) y Ind. (El número de individuo).

P	Tto.	Ind	P	Tto.	Ind	P	Tto.	Ind	P	Tto.	Ind.
5	A	1	6	B	9	3	A	17	7	A	25
4	B	2	5	A	10	9	A	18	3	A	26
4	B	3	9	A	11	7	A	19	8	B	27
6	B	4	0	B	12	9	A	20	2	B	28
3	A	5	5	A	13	3	A	21	2	B	29
2	B	6	7	A	14	6	B	22	9	A	30
2	B	7	0	B	15	5	A	23	0	B	31
6	B	8	6	B	16	6	B	24	8	B	32

Estudio a simple ciego. Esta técnica de enmascaramiento se seleccionó por la propia seguridad de los presentes en el gabinete de trabajo y porqué no había la posibilidad que el profesional supiese si la máquina láser estaba en funcionamiento o no. Por lo tanto, cuando se trató al paciente del grupo control, se utilizaron todas las medidas de seguridad y se aplicaron la sonda con el aparato láser desenchufado (placebo).

4.1.1.2. Muestra.

Del total de los pacientes reclutados, se dividieron en 2 grupos, el grupo placebo y el grupo irradiado durante la fase de retención.

a. Criterios de inclusión.

- Población diana:
 - Maloclusión Clase I según Angle con discrepancia esquelética transversal maxilar/mandibular.

- No haber sido tratados en dentición temporal/mixta fase reposo con extracciones.
- Tenía que presentar arcadas dentales mandibulares con apiñamiento ligero o sin.
- No deberían ser tratados con un tratamiento subsecuente de ortodoncia ni en el maxilar ni en la mandíbula.
- Población accesible.
 - Pacientes que acudían al Hospital Odontológico. Universitat de Barcelona en la primera planta.
- Población elegible.
 - Pacientes que fuesen a iniciar el tratamiento interceptivo de maloclusión.

b. Criterios de exclusión.

- Pacientes que hubiesen recibido tratamiento de ortodoncia o que estuviesen en tratamiento.
- Pacientes que no solo con el tratamiento de expansión rápida palatina fuese suficiente para resolver su maloclusión.
- Individuos en dentición temporal o definitiva completa.
- Síndromes que pudiesen cursar con alteraciones orofaciales.

c. Contraindicaciones:

- **Pregnancia.** Adolescentes con dentición mixta. Aunque podía utilizarse con precaución lejos del útero, para este estudio se consideró no indicado.
- **Carcinoma,** ni lesiones primarias ni secundarias.
- **pacientes con episodios recientes de hemorragia por el efecto vasodilatador.**
- **Pacientes que estuviesen tomando drogas inmunosupresoras.**

4.1.2. Proceso de reclutamiento.

Se obtuvieron pacientes derivados del Máster de Ortodoncia y de los pacientes tratados por los alumnos en prácticas de la asignatura Integrada Infantil de 4º y 5º de Odontología que se realizaban en el mismo hospital.

También se acudió a todos los centros de atención primaria (con unidad de odontología) que se encontraban en un radio de 15 km alrededor del Hospital Odontològic. Universitat de Barcelona. Se visitó a los dentistas explicando las características del estudio y se hizo hincapié en los criterios de inclusión de los pacientes.

Los datos recogidos de la exploración física y los registros de yeso fueron archivados en ficheros guardados en la misma planta en donde se atienden a los pacientes. Las fotografías y archivos digitales relativos a las

pruebas radiográficas se guardaron en un disco de almacenamiento informático comprado para dicho fin.

4.1.3. Cálculo de la muestra.

Al tratarse de un ensayo clínico se tuvo que contratar un seguro de responsabilidad civil especial para ensayos clínicos en menores de edad (por el láser) correspondiente a un máximo de 12 meses. Por ello solo se pudo tratar a los pacientes que reuniesen los criterios de inclusión y que acudiesen durante 10 meses al Hospital de Bellvitge. Se tuvo en cuenta que la muestra sería justa, pero al carecer de estudios similares actuales o bien en los que la muestra fue mínima (Zimring e Isaacson, 4 pacientes) y (Brosh *et al.*, 14 pacientes) se consideró que era la única opción. Lo ideal hubiese sido disponer de más tiempo para el reclutamiento, pero no pudo ser (Zimring e Isaacson 1965 y Brosh *et al.* 1998). Se fue totalmente objetivo, no se estuvo influenciado por algún tipo de interés y no se incurrió a *estrategias manipuladoras* de cálculos estadísticos para justificar el tamaño de la muestra.

4.1.4. Contexto, datos demográficos y epidemiológicos.

4.1.4.1. Contexto.

Estudio Unicéntrico. El estudio se realizó en el Hospital Odontològic. Universitat de Barcelona en la primera planta. En dicha planta, los gabinetes en donde se trataban a los pacientes de ortodoncia, se disponía de todo el material necesario para llevar a término el estudio. Además, se tenía anexado un gabinete doble con una sola entrada ideal para poder controlar el personal de tránsito y poder asegurar que solo entraba personal cualificado durante la aplicación del láser de baja intensidad. De esta manera se pudo cumplir al 100% con las pautas de seguridad de uso del láser. El hospital odontológico cumplía con la normativa vigente en cuanto a protocolos de evacuación, normas de seguridad, protocolos de urgencias médicas y una administración competente.

4.1.4.2. Datos demográficos.

Según la página electrónica del *Institut d'Estadística de Catalunya* (Ildescat) la población comprendida entre los 6 y los 12 años (dentición mixta) en 2001 era de 396512 niñas/niños. Pero si nos referíamos a la provincia de Barcelona, aunque al Servicio de Ortodoncia eran remitidos un pequeño porcentaje de pacientes del resto de provincias de Cataluña, se disponía a tal fecha de una población infantil de 296124 individuos (Ildescat 2001).

4.1.4.3. Datos epidemiológicos.

En un estudio descriptivo transversal en 1987 en una población escolar de Barcelona se incluyeron a 984 individuos (42% hombres y 57% mujeres) en edades comprendidas entre los 11 y los 16 años (Carol-Murillo y Álvarez 1987). Los resultados revelaban una prevalencia de 11,7% de mordida cruzada. Posteriormente, en un estudio realizado por el equipo de investigación de este proyecto, se describió valores más elevados (18,6%) en una población escolar de Tarragona y Barcelona de 1051 individuos con una media de edad de 9,3 años (García y Ustrell 2011).

4.1.5. Variables principales.

4.1.5.1. Variables características paciente.

- Sexo. Variable cualitativa dicotómica.
- Patrón de crecimiento facial vertical. Variable cualitativa policotómica. (braquiocefálico – mesocefálico - dolicocefálico).
- Edad. Variable cuantitativa continua.
- Tratamiento láser/grupo placebo. Variable cualitativa dicotómica.
- Estadio de maduración cervical (crecimiento esquelético). Variable cualitativa policotómica.
- Milímetros de expansión en modelos de yeso. (diagrama dibujo oclusal del Anexo 4.1). Variable cuantitativa continua. En los modelos de yeso pre expansión y tras la retirada del aparato de expansión (McDougall et al. 1982).
 - Distancia a y b (Longitud de la arcada). La suma desde el punto de contacto mesial del primer molar permanente superior derecho al punto de contacto mesial de la cara mesial del incisivo central superior derecho más la medida del punto de contacto mesial del primer molar permanente superior izquierdo a la cara mesial del incisivo central superior izquierdo.
 - Distancia 6 -- 6 (Valor oclusal). Ancho de la arcada a nivel oclusal entre los puntos de las cúspides mesiobucles de los molares superiores derecho e izquierda.
 - Distancia 6 – 6 (Valor lingual). Medido en el surco lingual con el margen gingiva cervical de los primeros molares permanentes.
- Milímetros de expansión del tornillo disyuntor. Variable cuantitativa continua.

El patrón de crecimiento facial vertical y la maduración esquelética fueron clasificados gracias a los datos cuantitativos de cada uno de los pacientes.

4.1.5.2. Variables relacionadas con el estudio de la tensión.

- Tiempos de activación y retención. Variable ordinal.
 - Variable ordinal. Intervalos de días
 - Fase Activa:
 - T1. Primera activación del tornillo. Día 1
 - T1,5. A la semana de la primera activación.
 - T2. Fin de la fase de activación. (dependerá de cada paciente)
 - Fase Retención:
 - T3. Tras 14 días.
 - T4. Tras 28 días.
 - T5. Tras 42 días.
 - T6. Tras 58 días.
 - T7. Tras 75 días.
- Tensión. Expresados en elementos de superficie (microstains) para los brazos A y B.
 - Tensión registrada en T1, T1,5, T2, T3, T4, T5, T6 y T7 para cada uno de los pacientes. Variable cuantitativa continua.
 - Tensión registrada en T1, T1,5, T2, T3, T4, T5, T6 y T7 (Mediana y rango intercuantílico) según el patrón de crecimiento vertical. Variable cuantitativa continua.
 - Disipación de la tensión. Media en T2 y T7 y su diferencia según el patrón de crecimiento vertical. Variable cuantitativa continua.
- Recidiva. Según el patrón de crecimiento.
 - Momento recidiva (T2 – T7). Variable cuantitativa discreta.
 - Número de casos que recidivan. Sobre la muestra. Variable cuantitativa discreta.
 - Porcentaje total sobre el total de la muestra y el acumulado. Variable cuantitativa continua.
- Brazos del disyuntor (A/B). Variable cualitativa dicotómica.

4.1.5.3. Variables relacionadas con el análisis de elementos finitos.

- Tensión - MEF. Variable cuantitativa continua. Expresados en elementos de superficie (microstains) para las galgas A y B. Predicción MEF al aplicar una Fuerza en la zona anterior y otra predicción para la zona Posterior.
- Tensión - Datos laboratorio. Variable cuantitativa continua. Tensión registrada por las galgas del disyuntor que está siendo en la plataforma XY motorizada.
- Fuerza. Expresada en Nétwones.

- Fuerza predicha F1 – F2 en T1, T1,5, T2, T3, T4, T5, T6 y T7 (para cada uno de los pacientes, la media total y la mediana). Variable cuantitativa continua.
- Disipación de la Fuerza. Media en T2 y T7 y su diferencia según el patrón de crecimiento vertical. Variable cuantitativa continua.
- Descripción de la Fuerza predominante en T2 y T7 según el patrón de crecimiento vertical. Variable cuantitativa discreta.
- Recidiva.
 - Momento recidiva (T2 – T7). Variable cuantitativa discreta.
 - Número de casos que recidiva. Sobre la muestra. Variable cuantitativa discreta. Porcentaje total sobre el total de la muestra y el acumulado.

4.1.5.4. Variables de los hallazgos radiológicos tras aplicar láser.

- Irradiados /placebo. Variable cualitativa dicotómica
- Tiempo en el que se realiza la radiografía CBCT. Variable cuantitativa discreta.
 - CBCT 1. Día que se deja de activar.
 - CBCT 2. A los 75 días.
- Variables anatómicas. En milímetros. Variable cuantitativa continua.
 - Máxima distancia hallada en toda la sutura del maxilar.
 - Distancia en la zona de la sutura inferior anterior.
 - Distancia en la zona de la sutura superior posterior.
 - Distancia hallada entre las dos corticales de la espina nasal anterior.
- Variables anatómicas. Continuidad o Discontinuidad de la cortical anterior de la sutura inferior, de la cortical posterior de la sutura inferior y del agujero interincisivo. Variable cualitativa dicotómica
- Variables anatómicas. Aproximación o No de la sutura superior anterior y posterior. Variable cualitativa dicotómica.
- Variables anatómicas. Características de la sutura inferior y superior. Variable cualitativa policotómica.
 - Sutura aproximada.
 - Sutura separada. Con márgenes bien definidos, mal definidos y festoneados.
- Variables anatómicas. Elementos aproximados en CBCT 1 y CBCT 2 del total de zonas evaluadas. Variable cualitativa policotómica.
 - Separada (0 elementos aproximados).
 - Aproximación mínima (1 elementos aproximados).
 - Aproximación moderada (2-3 elementos aproximados).
 - Aproximación significativa (4-5 elementos aproximados).
 - Aproximación completa (6 elementos aproximados).

4.1.6. Instrumentos.

4.1.6.1. Historia clínica y modelos de yeso.

Se utilizaron la historia clínica que utiliza el máster del servicio de ortodoncia a fecha de 2014. La filiación y los antecedentes médicos y odontológicos del paciente y de los familiares fueron cumplimentados con los padres de los pacientes.

Se tomaron modelos al inicio para el estudio y el articulador, en el momento de la retirada del disyuntor y a los 3 meses de la retirada del disyuntor.

4.1.6.2. Ortopantomografía y telerradiografía.

Únicamente se tomaron una radiografía extraoral panorámica y lateral de cráneo al inicio del estudio. Estas pruebas diagnósticas fueron interpretadas por dos ortodoncistas.

a. Patrón de crecimiento facial según Ricketts (VERT).

Para definir el patrón de crecimiento vertical de los individuos de la muestra se decidió utilizar el Coeficiente de Variación de Vert descrito en la tesis de Ricketts en 1960 (Ricketts 1960). Con él se analizaron los siguientes valores:

- Eje facial. Medida angular posteroinferior entre el eje facial (PT-Gn) y el plano Basion-Nasion.
- Profundidad facial. Ángulo posteroinferior entre el plano horizontal de Frankfurt (FH) y el plano de referencia maxilar (Na-A).
- Ángulo del plano mandibular. Medida del ángulo menor entre el plano horizontal de Frankfurt (FH) y el plano mandibular.
- Altura facial inferior. Ángulo formado entre los planos Xi-ENA (referencia maxilar) y Xi-Pm (referencia mandibular).
- Arco mandibular. Medida del ángulo menor formado entre el eje condilar (DC-Xi) y el eje del cuerpo mandibular (Xi-Pm).

Se comparó el valor del paciente con la norma y se le asignó un signo negativo cuando era dolicocefálico y signo positivo si era braquicefálico. Se calculó la diferencia entre la norma y el valor del paciente y se le asignó el signo que le correspondía. (Tabla 4.2).

Tabla 4.2. Plantilla que cumplimentaron los ortodoncistas y que resume los valores que determinaran el patrón de crecimiento vertical.

Valores	Norma	DE	Medida paciente	Diferencia DE	Desviación paciente
Eje facial	90°	±3°	—	— ÷	—
Profundidad facial	87°	±3°	—	— ÷ 3	—
Ángulo plano md	26°	±4°	—	— ÷ 4	—
Altura facial inf.	47°	±4°	—	— ÷ 4	—
Arco md	26°	±4	—	— ÷ 4	—

Posteriormente se dividió esa cifra por la desviación estándar asignada y se sumó todos los valores para dividirla entre 5.

Se consideró dolicocefálico severo a partir de -2, dolicocefálico con -1, dolicocefálico suave con valores por debajo de -0.5 (inclusive). Los mesocefálicos se situaban entre -0.4 y +0.4 (inclusive). Los valores a partir de +0.5 ya se consideraban braquicefálicos y braquicefálicos severos a partir de +1.

b. Calibración inter-examinador.

Con el fin de asegurar una interpretación uniforme se siguió los criterios mínimos necesarios para asegurar una correcta interpretación de los datos (Rubio et al. 1997). Para ello 2 examinadores con experiencia clasificaron 15 cefalometrías, de manera independiente, según el biotipo facial utilizando el programa informático Nemoceph® NX 2011 v.10.4.2.58 (Nemotec, Madrid, Spain). A los 15 días los examinadores volvieron a valorar las mismas cefalometrías. La concordancia se muestra en el capítulo 4 Resultados.

c. Índice de maduración de la vertebras cervicales (IMVC).

Se realizó utilizando las telerradiografías una evaluación de la relación existente entre el género (mujer/hombre) y el estadio de maduración esquelética. La finalidad de ésta, era poder demostrar que no había diferencias de maduración ósea entre niños y niñas y por lo tanto, poder asumir que ambos sexos tenían una respuesta equivalente.

Para ello, se siguió el índice de maduración esquelética desarrollado por Hassel y Farman en 1995 (modificado del de Lamparski) en la que se estudió la segunda, tercera y cuarta vértebra cervical de nuestros pacientes (C2,C3 y C4 respectivamente) (Hassel y Farman 1995, Lamparki 1972). Según su maduración se pudo clasificar en 6 estadios: (Figura 4.1)

- Iniciación.
 - La cantidad de crecimiento esperado del adolescente es muy significativo.
 - El borde inferior del cuerpo vertebral de C2, C3 y C4 es plano.

- El borde superior del cuerpo vertebral es cónico de posterior a anterior.
- Aceleración.
 - La cantidad de crecimiento esperado del adolescente es significativo.
 - Se desarrollan concavidad en el borde inferior de C2 y C3.
 - El borde inferior de C4 continua siendo plano.
 - C3 y C4 presentan una forma más o menos rectangular.
- Transición.
 - Moderado crecimiento esperado en el adolescente.
 - Marcadas concavidades en el borde inferior de C2 y C3.
 - C4 empieza a desarrollar una ligera concavidad en su borde inferior.
 - C3 y C4 son rectangulares.
- Deceleración.
 - Existe una pequeña cantidad de crecimiento esperado.
 - Marcadas concavidades en el borde inferior de C2, C3 y C4.
 - C3 y C4 se asemejan a una forma cuadrada.
- Maduración.
 - El adolescente presenta una insignificante cantidad de crecimiento.
 - Concavidades acentuadas en los bordes inferiores del cuerpo de las vertebrae C2, C3 y C4.
 - C3 y C4 presenta forma cuadrada
- Completo.
 - El crecimiento del adolescente esta completado.
 - Se puede observar profundas concavidades del borde inferior del cuerpo de C2, C3 y C4.
 - Las dimensiones de C3 y C4 son más altas que anchas.

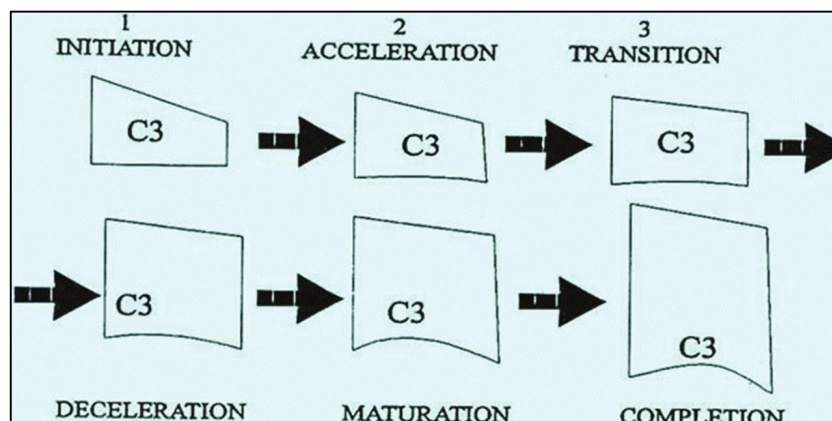


Figura 4.1. Estadios de maduración de las tercera vertebra cervicale propuesto por Lamparski (1972) y modificado posteriormente por Hassel and Farman (1995).

4.1.6.3. Proyección CBCT.

El estudio comparativo de las 2 proyecciones CBCT fueron realizadas por dos radiólogos experimentados en la región craneofacial.

a. Dosis absorbida en nuestros pacientes.

Para homogeneizar las características de la radiación a todos los pacientes. Se decidió que la exposición fuese realizada a primera hora de la mañana siendo ésta la primera radiografía realizada y después de haber esperado 30 minutos al encendido de aparato de radiación. Para todos los pacientes se programó el tomógrafo a 68 KV, 6,3 mA y 10,8 s, siendo una dosis absorbida de 131 mGy/cm².

Aún siendo poca la dosis absorbida, se decidió desde el principio que el FOV (field of view) fuese de 3,7 x 5 cm centrado en la sutura palatina, ya que la zona a valorar radiográficamente estaba dentro de dicha área y aumentar el FOV a todo el maxilar superior hubiese sido innecesario. Para valorar las características esqueléticas y dentales del paciente se realizó con el mismo aparato radiografías panorámica y lateral de cráneo (2D) ya que la dosis efectiva era muchísimo menor, tal y como se puede ver en el gráfico y el aporte tridimensional para nuestro estudio no estaba justificado. Todas las radiografías fueron realizadas por un único operador entrenado.

b. Estudio de los cortes axiales.

Debido a la gran información que aporta los 470 cortes de cada una de las irradiaciones, se decidió realizar un análisis descriptivo cuantitativo, en el que se valoró distancias de apertura de la sutura en el plano axial, y un análisis descriptivo cualitativo del estado de los márgenes de la sutura en diferentes planos axiales. Se analizaron en cada uno de las irradiaciones, es decir, tras la fijación del tornillo (CBCT 1) y a los 75 días de retención (CBCT 2).

Un valor añadido tanto en la comparación cualitativa como en la cuantitativa es el hecho que los radiólogos pudieron sincronizar los cortes de las dos irradiaciones del mismo paciente utilizando el software Aycan Osirix Pro (Aycan Digital systeme GmbH, Würzburg, Germany). Con la sincronización de los cortes en los tres planos del espacio se evita las imprecisiones en la colocación del paciente y el uso de marcadores metálicos. Así pues, se puede asegurar que las distancias medidas son en el mismo corte (de 470) y se tiene la ventaja de poder comparar corte a corte (en el análisis cualitativo) los dos CBCT en un mismo monitor, evitando imprecisiones subjetivas del radiólogo.

Los radiólogos tuvieron que describir y comparar la sutura en el plano axial en todo su dimensión vertical (desde el punto más caudal del hueso incisivo hasta E.N.A.) limitado posteriormente por la sutura con los huesos

palatinos. Dividieron el estudio de la sutura en dos áreas a estudiar: (Figura 4.2)

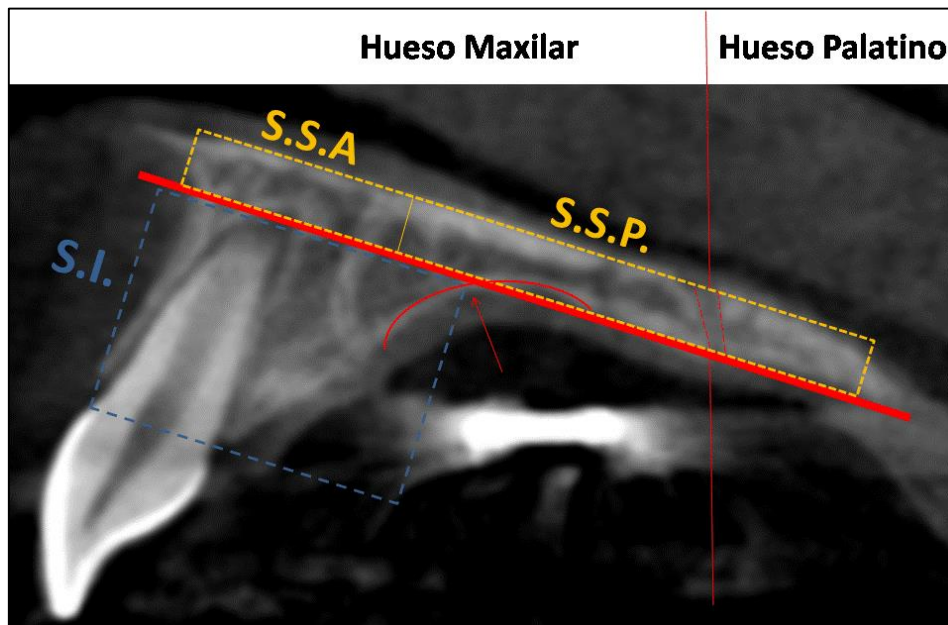


Figura 4.2. Hueso maxilar a la izquierda y hueso palatino a la derecha. En el hueso maxilar la línea roja (suelo del paladar) delimita la sutura inferior (S.I) en azul de la sutura superior (S.S.A) y sutura superior posterior (S.S.P.) en amarillo. La flecha roja indica el límite posterior de S.I.

Sutura Inferior (S.I.). La sutura media del hueso maxilar correspondiente a la zona inferior se delimitó desde el punto más caudal del hueso incisivo hasta al suelo inferior del paladar duro. Se analizó la cortical anterior (vestibular) y la cortical posterior (palatina), así como los márgenes de la sutura delimitados por las corticales. En sentido sagital desde toda la zona de la cortical vestibular hasta la cortica palatina (hasta el cambio de deflexión de la curva del paladar).

Sutura Superior (S.S.). Se describe desde el suelo del paladar hasta el suelo de los senos. En esta zona se describe los márgenes de la zona anterior – S.S.A. (desde vestibular hasta la vertical del conducto incisivo) y la zona posterior – S.S.P., desde dicha zona hasta el hueso palatino. Se describe si están separadas y como son los márgenes.

b1. Estudio cualitativo.

Para realizar el análisis cualitativo de S.I. y S.S. los radiólogos estudiaron la continuidad o discontinuidad de las corticales anterior y posterior de S.I y del conducto interincisivo. También valoraron si S.S.A., S.S.P y E.N.A. estaban con los bordes de la sutura aproximados o separados y definieron el estado de los márgenes de la sutura en su totalidad de S.I. y S.S.

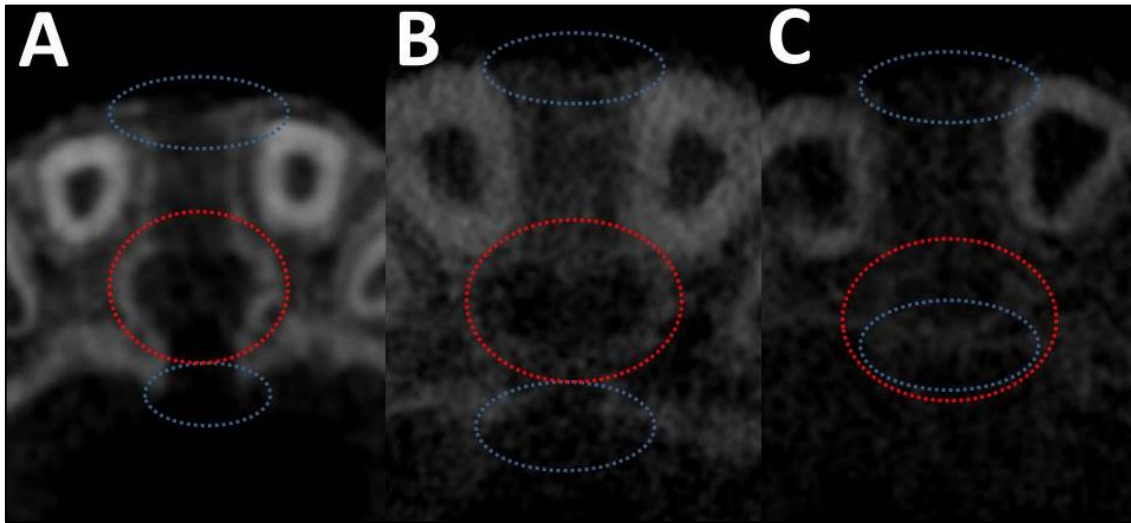


Figura 4.3. Descripción de diferentes estadios de osificación de la sutura inferior (S.I). **A** *Discontinuidad de la cortical anterior, posterior y del conducto interincisivo.* **B** *Continuidad de la cortical anterior, conducto interincisivo y discontinuidad de la cortical posterior.* **C** *Discontinuidad de la cortical anterior, zona anterior-distal del conducto interincisivo y continuidad de la cortical posterior y gran parte del conducto interincisivo. En este caso aun estando el 90% aproximadamente de la cortical del conducto interincisal continua se consideraría discontinua.*

- *Continuidad o discontinuidad.* La continuidad o discontinuidad de la cortical anterior y posterior de la S.I y del conducto interincisivo se describe de la siguiente manera: (Figura 4.3.)
 - *Continua.* La cortical (anterior o posterior) radiográficamente se observa como una línea radiopaca bien definida ininterrumpida desde un hemimaxilar al otro. En el caso del conducto interincisivo su cortical está bien definida en todo su contorno.
 - *Discontinua.* Existe interrupción de la cortical en alguna zona de su anatomía (en el plano axial).
- *Aproximación / Separado.* Para describir los márgenes de la sutura, básicamente se dividió en 2 conceptos; aproximados y separados. Este último a su vez se dividió en márgenes bien definidos, márgenes festoneados y márgenes mal definidos.
 - *Márgenes aproximados.* Los viejos bordes corticales de los márgenes de la sutura no se pueden ver. Existe un aumento de radiopacidad seguida de una línea irregular que comienza a ser visible en el centro del área. No es fusión, ya que los pacientes del estudio están en condición de crecimiento. (Figura 4.4.)

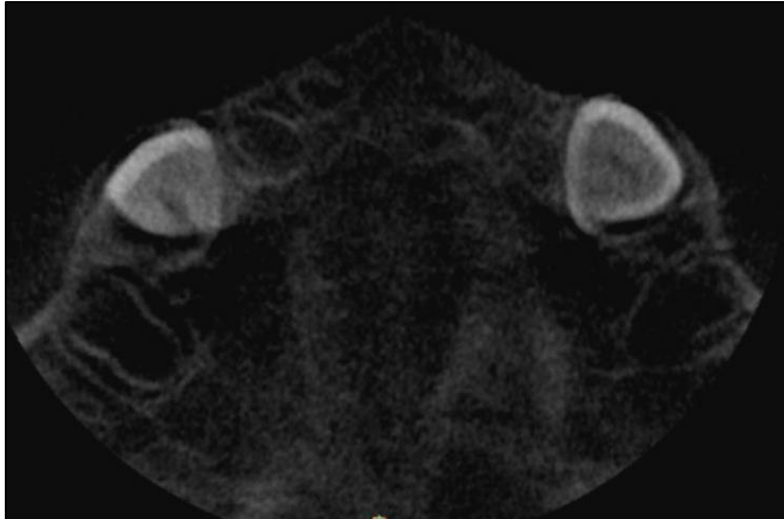


Figura 4.4. Aproximación de toda sutura desde Espina Nasal Anterior hasta huesos palatinos.

- *Márgenes separados bien definidos.* Línea de sutura de alta densidad con o sin interdigitación con una área o espacio intrasutura bien definida. (Figura 4.5. A.)
- *Márgenes separados mal definidos.* Baja definición de los márgenes (baja densidad) con fragmentos radiopacos en la zona del margen o dentro del área expandida. Grandes espacios entre los márgenes de la sutura. (Figura 4.5. B.)

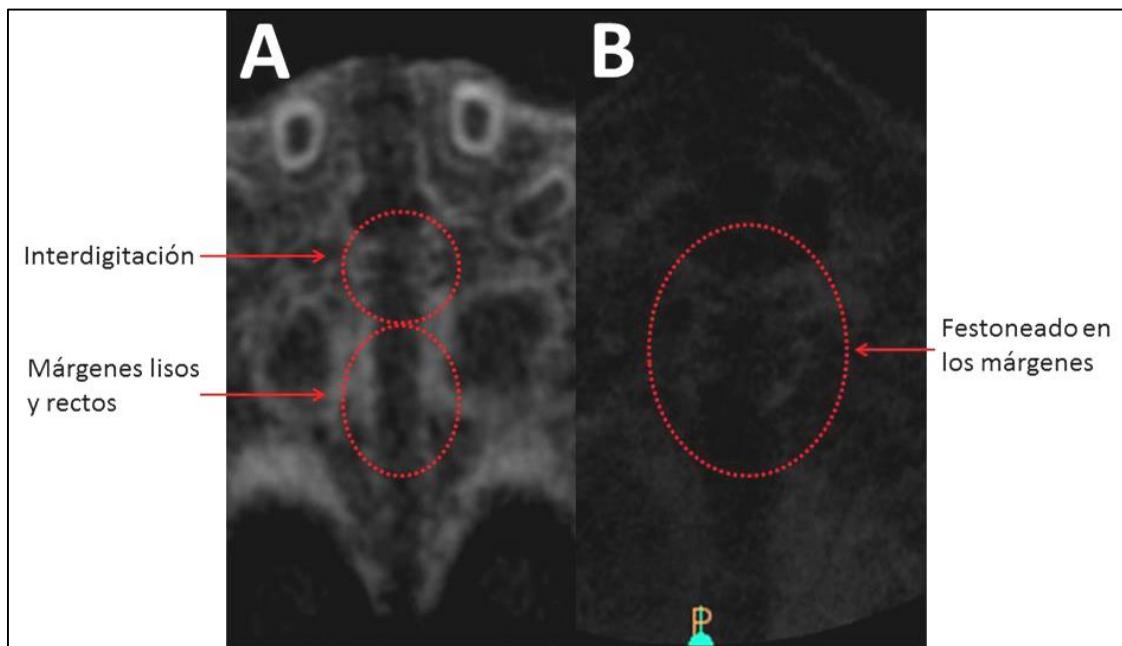


Figura 4.5. A *Márgenes separados bien definidos.* B *Márgenes separados festoneados en alguna de sus zonas.*

- *Márgenes difusos - festoneados.* En algunas zonas de la vieja cortical del margen de la sutura está difusa. Pequeños espacios entre los márgenes de la sutura se pueden apreciar, pero el espacio intrasutura es difuso con aumento de zonas radiopacas y en algunas zonas líneas festoneadas. (Figura 4.6.)

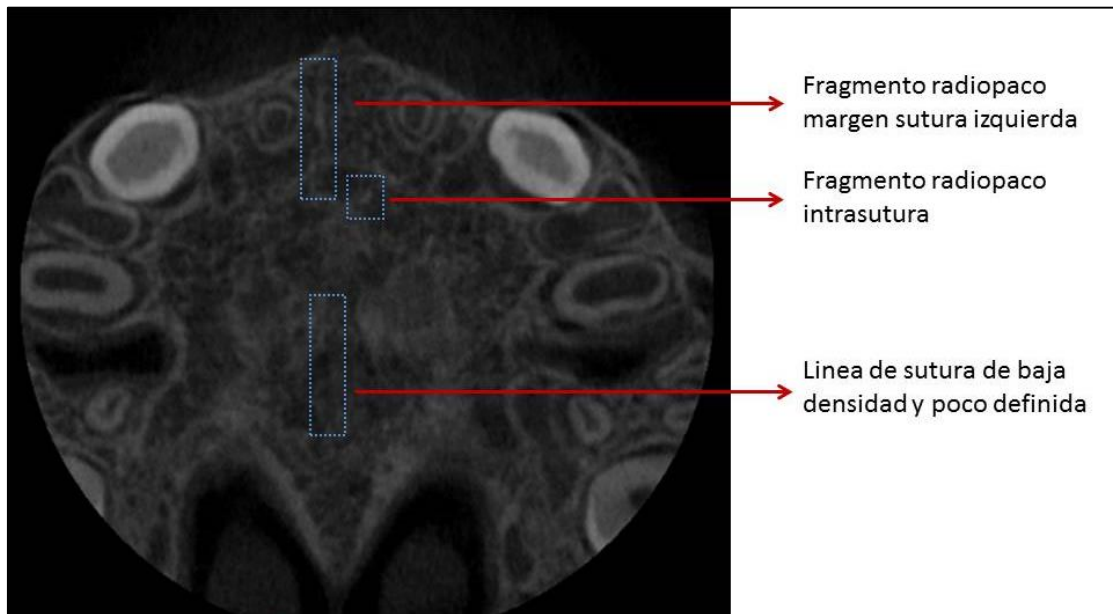


Figura 4.6. Márgenes de la sutura mal definidos.

Un resumen de las zonas anatómicas a describir se encuentra en la tabla 4.3.

b2. Estudio cuantitativo.

Tal y como describió Krebs, el patrón de apertura tras un ERM es triangular con la base en la zona anterior (Krebs 1964). Por ello se seleccionó la distancia máxima entre los márgenes de la sutura en cualquier corte del CBCT y 3 distancias definidas en 3 planos que se detallan a continuación:

- *Distancia Máxima de la Sutura (D.M.S).* En cada paciente puede variar, ya que depende del grado de apertura de la sutura. En principio debería situarse en la zona del hueso incisivo más caudal.
- *Distancia de la Sutura Antero-Inferior (D.S.A.I).* Figura 4.7. Teniendo en cuenta que el grado de apertura en la zona anterior es de base triangular en el plano axial y también en el plano frontal, se decidió buscar un punto representativo. Para ello se tomó como referencia el plano de S.S. A ésta, se le trazó una perpendicular en su zona anterior hasta el

punto más caudal del maxilar (P.S.S.). Sobre esta perpendicular los radiólogos disponían de una herramienta de medición lineal, a partir de la cuál pudieron trazar una perpendicular (P.P.S.S.) desde el 1/3 inferior hasta la cortical vestibular de la zona anatómica S.I. (Figura 4.7. A.) La P.P.S.S. nos marca el corte del plano axial a medir. Fig. 4.7. B.

Tabla 4.3. Análisis cualitativo de la sutura maxilar.

ZONA ANATÓMICA	DESCRIPCIÓN	
Sutura media palatina inferior (zona anterior y media de los huesos maxilares)	Cortical anterior	Continua
		Discontinua
	Cortical posterior	Continua
		Discontinua
	Características de los márgenes de la sutura	Aproximados Separados: <ul style="list-style-type: none"> • Márgenes bien definidos • Márgenes mal definidos • Márgenes festoneados
Sutura media palatina superior (zona anterior, media-posterior de los huesos maxilares y palatinos)	Márgenes de la zona anterior	Separado
		Aproximado
	Márgenes de la zona posterior posterior	Separado
		Aproximado
	Características de los márgenes de la sutura	Aproximados Separados: <ul style="list-style-type: none"> • Márgenes bien definidos • Márgenes mal definidos • Márgenes festoneados
Espina nasal anterior	Separada	
	Aproximada	
Agujero interincisivo (cortical del conducto)	Discontinuo	
	Continuo	

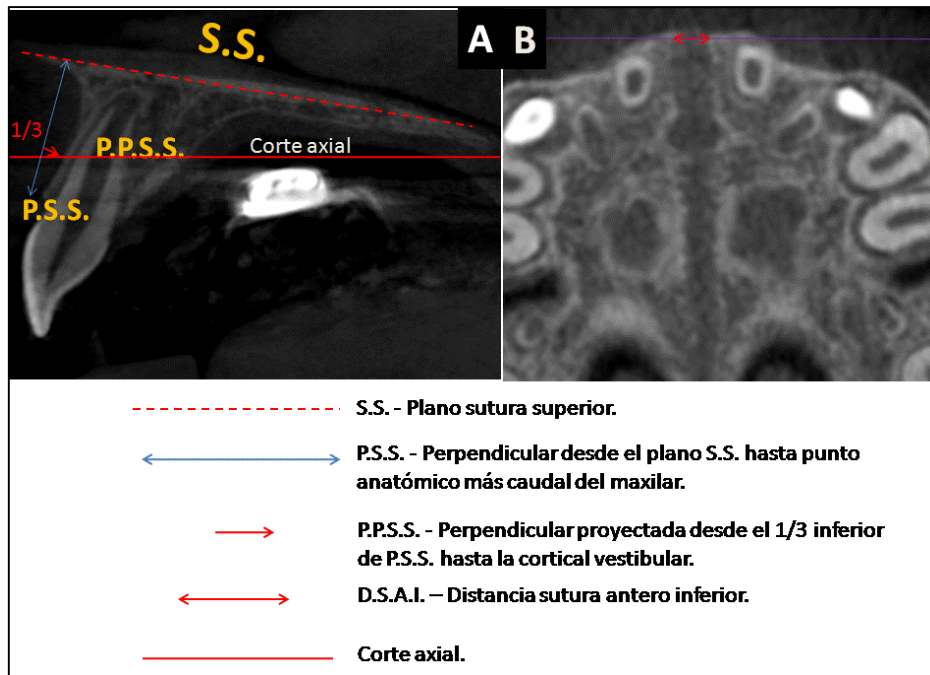


Figura 4.7. A Plano sagital con los planos para localizar el corte axial. B Corte axial en donde medir la distancia sutura anterior inferior.

- *Distancia de la Sutura Postero-Superior (D.S.P.S.).* También se tomó como referencia un plano de S.S. Éste se estableció desde E.N.A. hasta el margen distal de la sutura palatina (S.P.). El plano se dividió en 5 partes (Figura 4.8. A.) y en la parte más proximal del plano se estableció el corte axial donde medir la distancia. (Figura 4.8. B.)

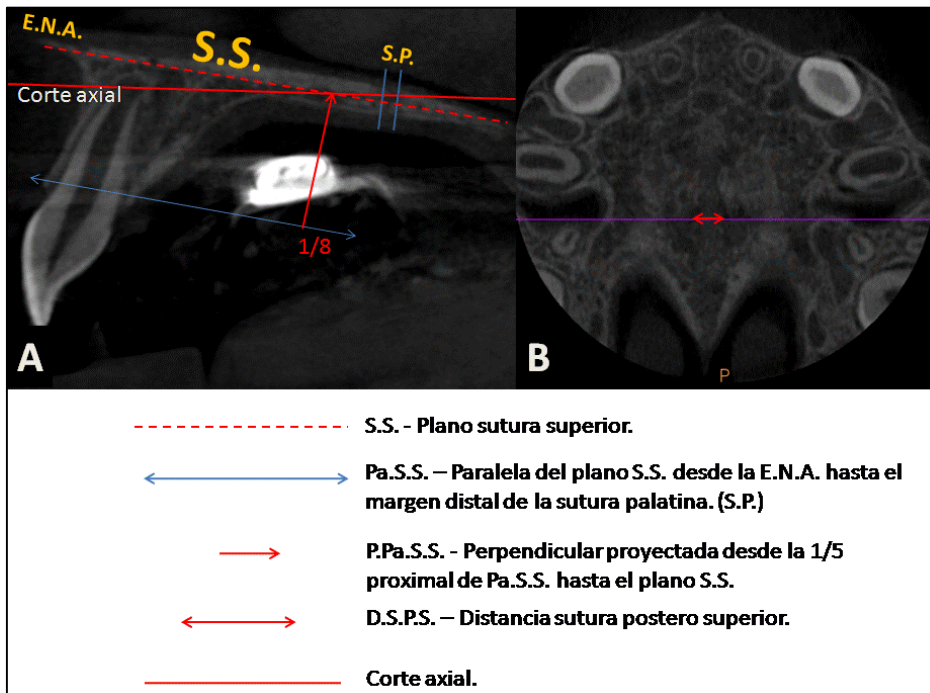


Figura 4.8. A Plano sagital con los planos para localizar el corte axial. B Corte axial en donde medir la distancia sutura posterior.

- *Distancia Sutura Espina Nasal Anterior (D.S.E.N.A.).* Distancia medida entre los márgenes más distanciados (más distales) de E.N.A. separada tras la E.R.P. (Figura 4.9.)

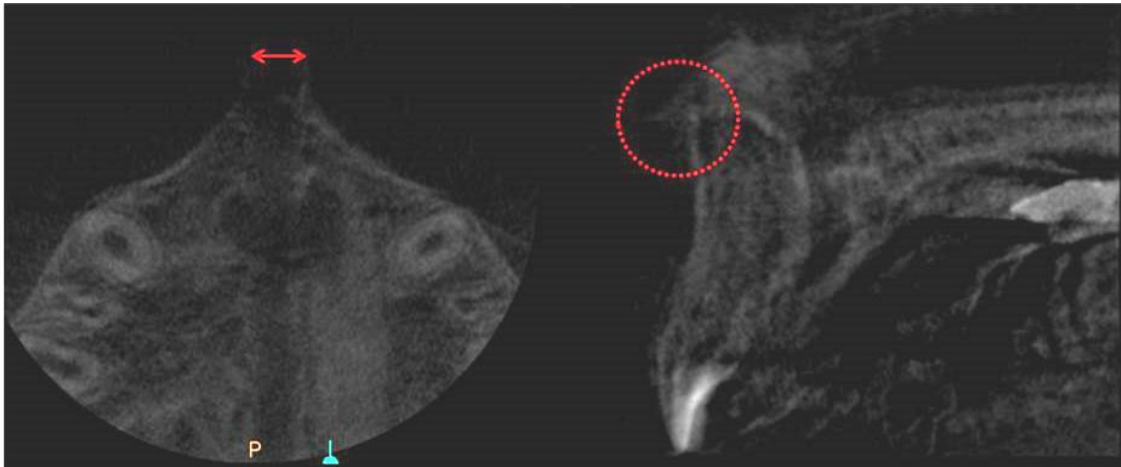


Figura 4.9. A Proyección axial. B. Proyección sagital.

b3. Calibración inter-examinador.

Al igual que los ortodoncistas, los radiólogos también fueron calibrados. 10 escáneres CBCT realizados tras le ERM del archivo del servicio de Ortodoncia fueron analizados independientemente por cada uno de los examinadores para estudiar las características de la sutura y las distancias a cuantificar. La fiabilidad de los datos se muestran en Capítulo 4 Resultados.

b4. Evaluación de la sutura a los 75 días de retención fija.

Una vez se había descrito los márgenes de la sutura y se había cuantificado las distancias los examinadores realizaron una clasificación de la sutura maxilar a partir de los elementos aproximados y con el número de corticales continuas en los tiempos CBCT 1 y CBCT 2. Valoraron la cantidad de estructuras analizadas aproximadas y continuas y otorgaron 5 niveles de definición:

- Separados (0). No hay evidencia de márgenes aproximados en la totalidad de la sutura media.
- Aproximación mínima (1). Los márgenes están separados pero alguna zona de la sutura presenta aproximación total. (1 zona aproximada)
- Aproximación moderada (2). Existe tendencia a la aproximación. (2-3 zonas aproximadas totalmente).
- Aproximación significativa (3). Hay un aumento marcado de aproximación pero existe alguna porción de la sutura no completamente aproximada. (4-5 zonas aproximadas).

- Aproximación completa (4). Existe aproximación en la totalidad de la sutura media. (las 6 zonas analizadas)

4.1.6.4. Registrador de deformación unitaria.

Para el estudio de la tensión se ha tenido que adecuar los elementos de cableado y conexiones ajustándolos al aparato disyuntor con placa de resina (McNamara). Cada cableado fue realizado de manera individual y adaptado siguiendo las indicaciones de la Unidad de Mecánica de los Medios Continuos de la Universidad de Vigo. Es preciso mencionar, que en la presente tesis doctoral se utilizará tensión como sinónimo de deformación cuando se haga referencia al estado de fuerzas y deformaciones que se producen durante el tratamiento. Si bien en sentido estricto el término empleado para la propiedad registrada es en el ámbito ingenieril el de deformación unitaria, aquí este término será sustituido por tensión para evitar posibles equívocos derivados del significado del término deformación en el ámbito clínico.

a. Conexión galga – pin conector – modelo D4.

En la figura 4.10 se esquematiza el modelo a seguir para realizar la conexión entre la galga, que está adherida a los brazos del disyuntor, y el aparato D4 a través de un cable de red apantallado RJ 45.

Galga-Conector. Tal y como se aprecia en la figura, de los bornes de la soldadura de la galga salen 2 filamentos pre-soldados, uno de ellos corresponde al voltaje de excitación (E+), y del otro la señal negativa (S-) y el modulador D120. Para este tipo de cableado se necesitó un conector macho en a/r para PCB de 4 vías (1.25mm) macho, que estaba compuesto por 4 pines (2 por galga / Brazo A-B). Por lo tanto teníamos el pin 1 y 2 para el brazo A y el pin 3 y 4 para el brazo B. De esta manera, de la galga A se soldó un filamento pre-soldado al pin 1 y el otro al pin 2, y lo mismo con los dos filamentos de la galga B pero al pin 3 y 4. Una vez montada la conexión Galgas A-B – Conector se procedió a montar el cable RJ 45 que en este caso sirvió para todas las conexiones realizadas durante el estudio.

Cable apantallado RJ 45. Se realizaron 2 cables (uno para cada galga). Cada cable constaba de 8 filamentos de los cuales se seleccionaron 3 para el tipo de resistencia dummy de 120 Ohms que se utilizó. De un cable se separaron el cable verde (D120) y el azul (S-) que se unieron entre sí para el pin 1 (galga A) y el cable amarillo (E+) para el pin 2 (galga A). Del otro cable se realizó la misma separación pero en este caso para el pin 3 (galga B) y el pin 4 (galga B). Con el fin de conectar los filamentos con los pines receptores de la carcasa macho se soldó estos a un crimp terminal de 1.25 (fem/8-32AWG, reel). Estos 4 crimps se introdujeron en una carcasa conector hembra de 4 vías de 1.25 mm. En un principio se decidió que la carcasa fuese de 4 vías (tal y como se observa en la figura) con la que se podía tomar los registros de las 2 galgas a la vez, pero en el estudio piloto (que se realizó previamente) se valoró

que los pacientes deberían abrir mucho la boca para que la conexión fuese correcta y se apreció que los niños estaban con mucha tensión. Por lo tanto, se optó por realizar el registro con carcasas de 2 vías, es decir, primero se registraba la galga A y posteriormente la galga B.

Una vez se introducía las carcasas hembras en la carcasa conector macho que llevaba incorporado cada disyuntor, se conectaban los cables a los canales 1 y 2 del registrador D4 y este a su vez se conectaba al PC vía USB.

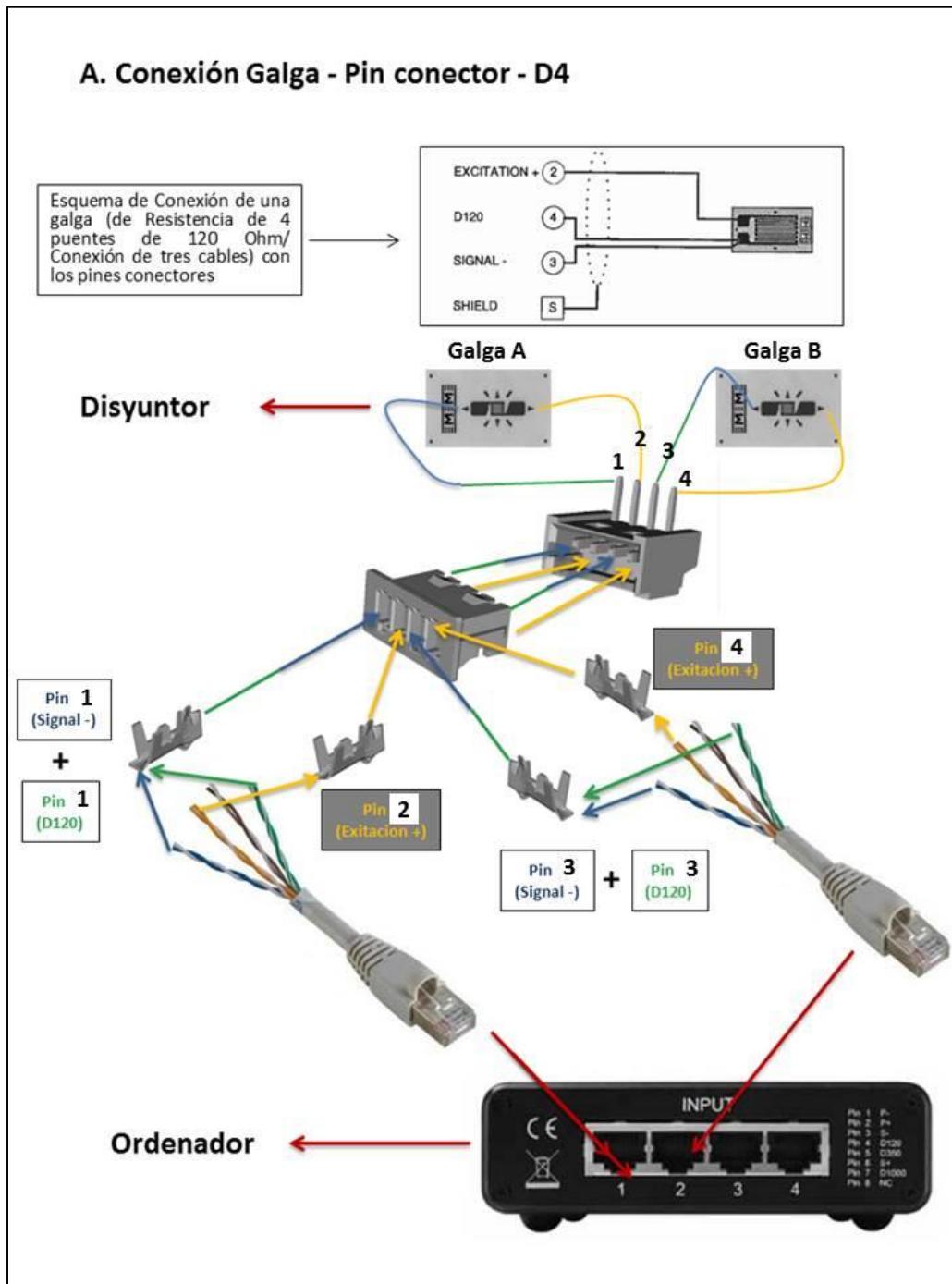


Figura 4.10. Conexión Galga-Pin-D4. Las flechas verdes y azules indican la unión de los filamentos correspondientes (D120 – E-) y las amarillas el filamento de voltaje positivo (E+).

b. Montaje de las galgas en el disyuntor.

El método a seguir fue parecido al realizado por Brosh et al. en su estudio (Brosh et al. 1998). Sin embargo para la adhesión de la galga se siguió los consejos del equipo especialista de Micro Measurement y del equipo de la Universidad de Vigo. Cabe destacar que todas las galgas fueron colocadas en la misma posición en todos los disyuntores que se corroboró con el análisis de elementos finitos. En todos los disyuntores el montaje se llevo a cabo en el lado derecho, ya que clínico era diestro.

Componentes necesarios:

- Galga Micro Measurements & SR-4® EA-06-015DJ-120/LE. (Figura 4.11.A.)
- Kit Adhesivo Micro Measurements & SR-4® (Adhesivo M-bond 200 adhesive y Catalizador 200 Catalyst)
- Acetona.
- Alcohol de 96°.
- Lija de grano de 500 Micrometros.
- Resina (monómero) y Activador (polímero) autopolimerizante (403 -0010- Forestacryl, Forestadent , Pforzheim , Germany).
- Cera de ortodoncia.
- Estaño para soldar.
- Conector RJ45 de 4 vías (en a/r para PC B y con separación de 1.25 mm). (Figura 4.11.B.)
- Cable apantallado de 8 filamentos - Tipo RJ45. (para PC)
-

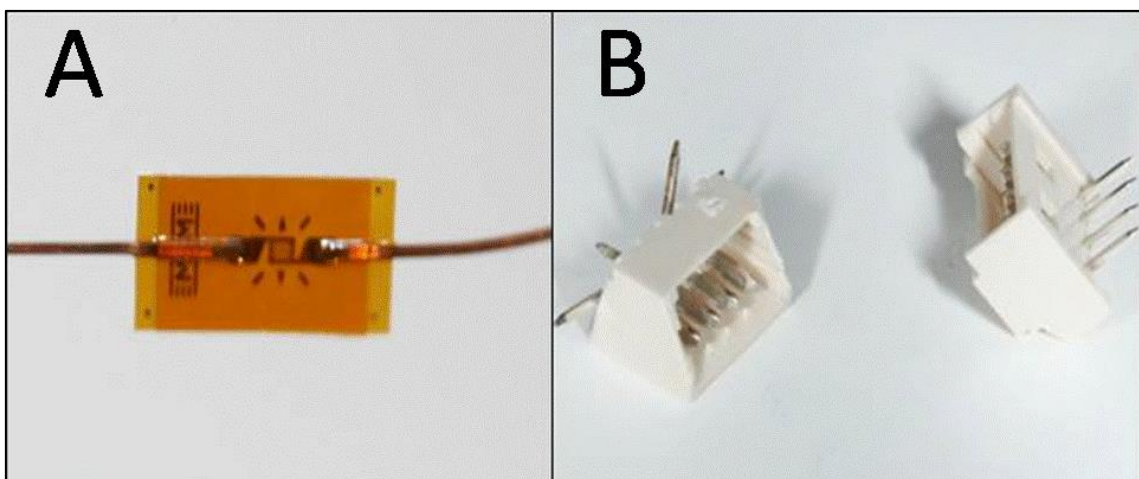
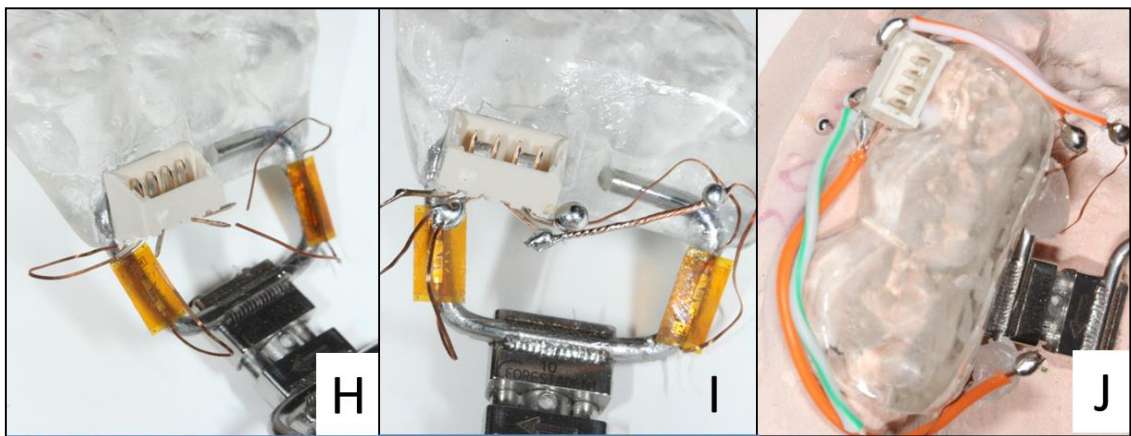
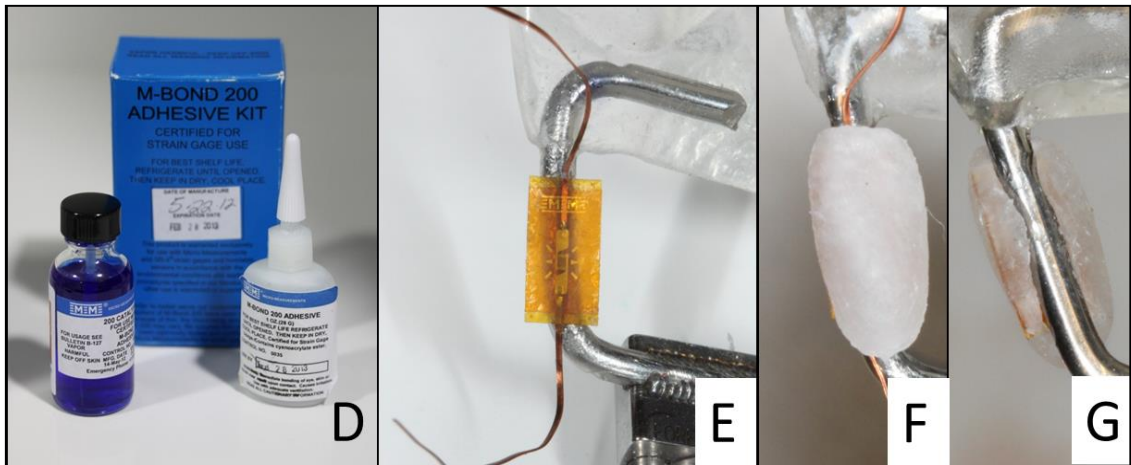
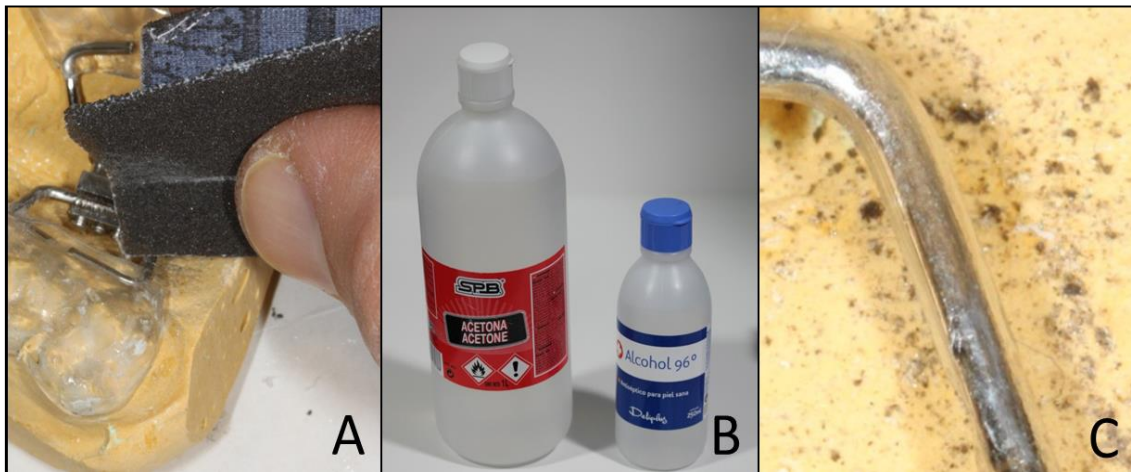


Figura 4.11. A Parte posterior de la galga extensiométrica con los filamentos pre-soldados a los bornes de la redcilla metálica. B Imagen de la disposición que se le da a los pines con el fin de adaptarlos a la forma del disyuntor para que no se toquen entre sí y no produzcan lesión al paciente.

Pasos que se siguieron:

1. Se lijó la superficie en donde iba adherida la galga (cara oclusal de los brazos) con papel SiC. Se limpió con acetona y se dejó secar. A continuación se aplicó alcohol y se dejó de nuevo secar. (Figuras 4.12. A-C).
2. Una vez la superficie estuvo limpia y con retenciones se aplicó el catalizador y se dejó 2 minutos. El objetivo era que se pudiese manipular la galga en la posición exacta deseada, ya que el adhesivo que se estaba utilizando tenía una activación muy rápida. Es decir, que al ser una adhesión prácticamente inmediata se podía colocar la galga en una posición incorrecta e incluso llegar a fracturarse los hilos de esta. (Figura 4.12. D)
3. Se aplicó una fina capa de adhesivo y se colocó la galga en la posición deseada presionando durante 5 minutos. (Figura 4.12. E)
4. Según las recomendaciones de la Unidad de Física Aplicada, era recomendable que la zona en donde se ubicaba la galga estuviese lo más libre de material, por lo cual, se debía colocar cera de ortodoncia recubriendo el protector plástico de la galga. De esta manera, en la zona donde contactaba la galga se creaba una cámara de aire. El objetivo era que la galga recibiese en mayor parte la tensión existente por parte del brazo del disyuntor y no de la resina que envolvía todo el sistema (Figura 4.12. F y G)
5. Se adhirió el conector RJ 45 a la superficie oclusal de resina del disyuntor. (Figura 4.12. H)
6. Se esperó 15 minutos y se soldó los filamentos de la galga a los pines del conector con el estaño. Soldándose los dos filamentos de la galga del brazo anterior a los dos pines del lado correspondiente del conector. En los disyuntores en los que la longitud del filamento no alcanzaba el pin se utilizó una extensión de cable de 8 filamentos entre ambos. (Figura 4.12. I y J)
7. En ese punto se comprobó que la conexión pin-cable-galga era correcta y funciona de manera correcta. (Figura 4.12. K)
8. Se recubrió todo con resina autopolimerizable con el método sal y pimienta y se sumergió el disyuntor colocado en el modelo de yeso durante 35 minutos a una temperatura entre 45°C y 50°C. La parte interior del conector se rellenó con cera de ortodoncia para evitar que entrase resina y se polimerizase. (Figura 4.12. L-R)
9. Se dejó secar, se comprobó la articulación con el modelo de yeso inferior del paciente y se pulió la resina. (Figura 4.12. S)
10. Una vez pulida la resina se volvió a comprobar que la conexión era correcta y que las medidas eran iguales a las tomadas anteriormente.

A continuación se puede apreciar las imágenes que describen el proceso en la Figura 4.12. A-S.



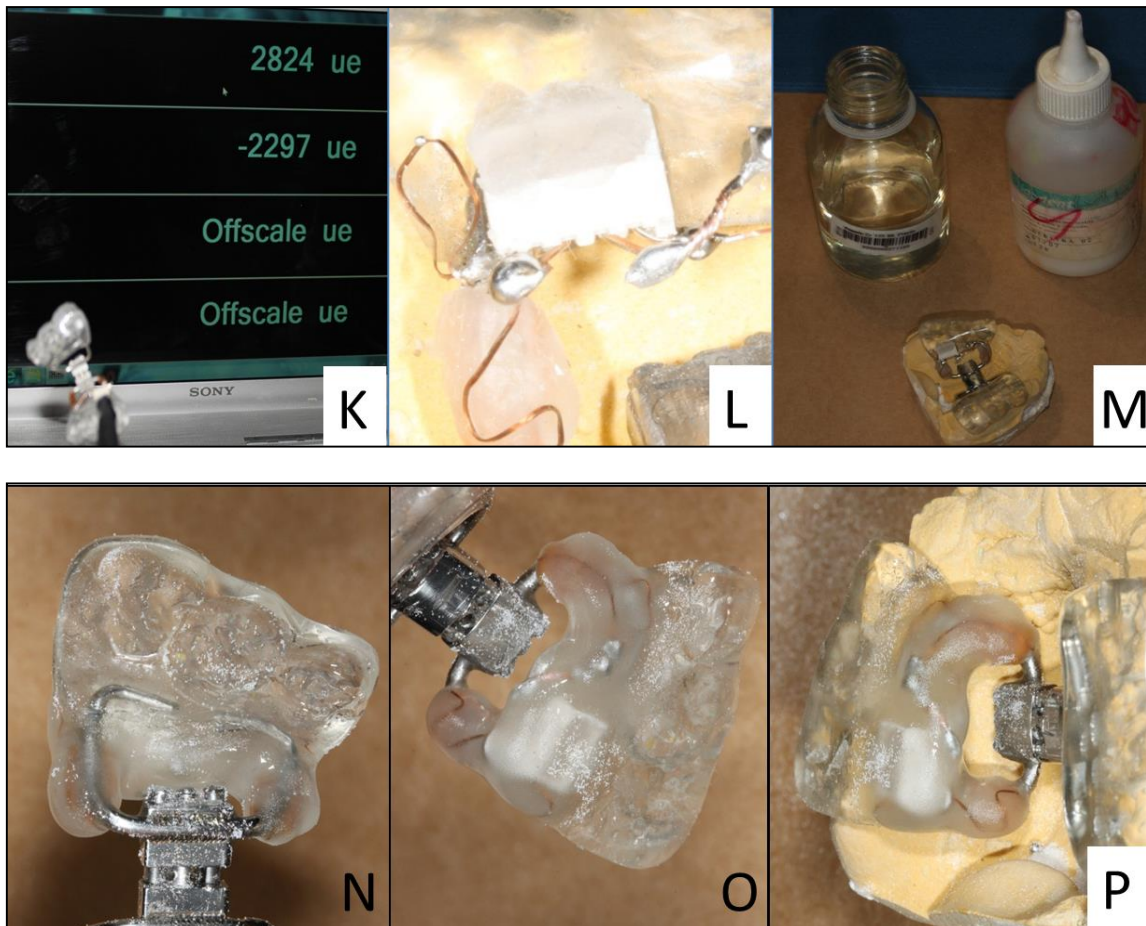


Figura 4.12. Pasos a seguir para adherir el sistema galga extensiométrica-conexión a los brazos del disyuntor.

Tal y como se puede apreciar en la figura 4.12. E se adhirió la galga directamente a la superficie cilíndrica. No se tuvo en consideración que el plástico protector de la malla no estuviese en contacto con la superficie metálica del brazo metálico y tampoco se añadió adhesivo extra para compensar dicha curvatura. La deformación de la malla a la curvatura no influía en la lectura de la galga cuando se producían cargas y por lo tanto no se calibró dicha deformación, ya que la exactitud no era el punto principal del trabajo. Más bien fue la repetibilidad de las mediciones las que fueron consideradas factor clave en establecer los patrones de tensión para los estadios de la ERM. En otras palabras, la desviación entre la tensión actual en la superficie y la media de tensión medida por el sistema no representaba un problema si tales desviaciones eran constantes.

c. Medidas para asegurar la posición exacta entre exposiciones.

Para tomar la tensión correctamente, era necesario reproducir la situación, tanto posicional como horaria, y que el paciente estuviese sin moverse.

Reproducción de la situación. Al paciente se le sentaba en una silla odontológica y se reclinaba el respaldo hasta alcanzar una posición de 180°. Se consideró que debido a que las galgas estaban dentro de un sistema vivo y por lo tanto que podía presentar diferentes estados a lo largo del día como es la presión arterial, se tomó la tensión siempre en un horario comprendido entre las 17:00 horas y las 19:30. Se les explicaba a los padres que los niños debían acudir a la cita sin haber merendado y con un reposo del niño sin actividades extraescolares de como mínimo 1 hora.

Movimiento. Se comprobó con los primeros pacientes de prueba (estudio piloto) que el mínimo movimiento del paciente con las extremidades o bien de la cabeza hacía oscilar las medidas. Debido a la joven edad de los pacientes se optó por generar un estado de tranquilidad durante el registro. Para ello, se decidió que en los casos en que la edad era precoz, y veíamos que el niño estaba más relajado si el padre estaba presente, este estuviese en todos los registros. Como norma, con los niños mayores de 8 años no era necesario que estuviesen presentes los acompañantes. Una vez estaba reclinado el participante se iniciaba la exploración de la cavidad oral y lo primero que se hacía era retirar la silicona que tapaba el interior del conector macho (para aislar del medio oral). No se limpiaba toda la cavidad oral de los restos de placa dental y alimento antes de la toma porque se comprobó que en muchos casos se excitaba al niño. Entonces con la boca abierta pero no en máxima apertura para no generar una tensión muscular se introducía el cable con el terminal conector hembra y se empezaba a registrar los dos canales. El computador D4 permanecía registrando el tiempo que hiciese falta y tomaba registros cada 0.0125 segundos hasta que al menos durante 10 segundos los valores de tensión permanecían estables.

Dependencia térmica – Galga extensiométrica. La dependencia térmica a la que están sometidas las galgas extensiométricas puede representar un problema cuando la temperatura varía entre dos registros. Sin embargo, en la boca existe una autoregulación térmica, y los rangos de temperatura normal oscilan entre los 34 a 36°C (Airoldi et al 1997, Ernst et al. 2004). Por lo tanto, considerando que el factor de compensación térmica de la galga extensiométrica (compensación térmica del acero) tiene una variación de temperatura de 5 grados Celsius, se podría causar un error menor a $\pm 1\%$ para la medición de la tensión.

4.1.6.5. MEF.

Para este estudio se ha realizó un análisis conformado según geometrías similares a la recogida en la Figura 4.13.

Los objetivos del análisis fueron los siguientes:

- Objetivo 1: Determinación de la zona óptima para emplazamiento de las galgas extensiométricas en función de la deformación producida (justificación).

- Objetivo 2: Determinación de la carga producida por los molares permanentes y molares temporales en función de las medidas experimentales de las deformaciones en una zona determinada de cada uno de los brazos del disyuntor. Obtención de la curva de cargas de expansión ejercidas durante el tratamiento.

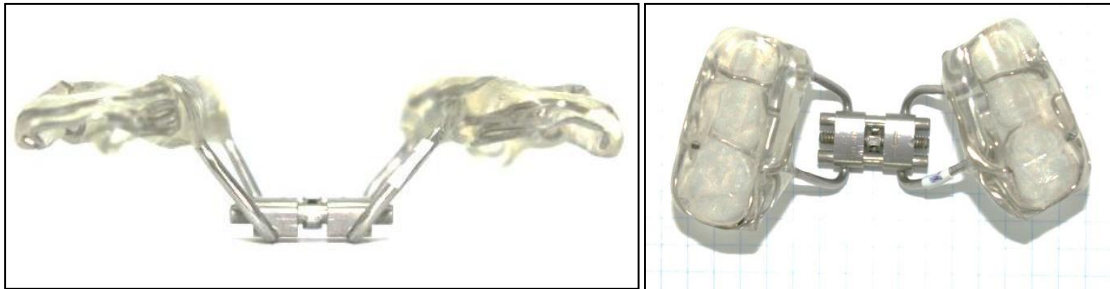


Figura 4.13. Geometría del disyuntor una vez conformado para expansión palatina.

Para conseguir dichos objetivos se consideró las siguientes suposiciones:

- Suposición 1: Simetría de cargas entre lado izquierdo y lado derecho (fuerzas ejercidas por y sobre los molares temporales y permanentes).
- Suposición 2: La deformación de la zona de resina es despreciable respecto a la deformación que se produce en los brazos del disyuntor.

a. Ubicación ideal de la galga como resultado del MEF. (Objetivo 1)

Era importante localizar la zona del aparato de expansión que mejor reflejase la deformación tras someterse a una fuerza. En la mayoría de estudios en los que se utilizaron galgas extensiométricas no se demostró la justificación de la ubicación de la galga. Caso es el de Oberheim y Mao que colocaron galgas en las suturas circumaxilares de un cráneo para valorar la fuerza de tracción ortopédica o bien el de Boryor et al. en el que se colocó galgas sobre la superficie oclusal del tornillo hyrax que está anclado a minitornillos colocados en la línea media del paladar (Oberheim y Mao 2002, Boryor et al 2010). En ambos casos, se realizó todo los registros in vitro, sin previamente haber asegurado que esa ubicación era la idónea que mejor

expresaba lo que querían demostrar (deformación de unas estructuras óseas-suturas que además ya estaban fusionadas).

Para ello se realizaron los siguientes pasos:

1º paso. Obtención de un modelo *computed assisted design* (CAD) del disyuntor (el continuo).

2º paso. Discretización del modelo CAD.

3º paso. Análisis de FEM-Optimización de las estructuras.

1º paso. Obtención de un modelo CAD del disyuntor.

Para la obtención de una base tridimensional o mapa donde poder realizar un AEF, se realizó el CAD a partir de un aparato de expansión palatina rápida de un paciente que no llegó a utilizarse y se tomó referencias anatómicas de los pacientes mediante los modelos de yeso del mismo paciente.

Cabe decir, que todos los disyuntores del estudio fueron realizados por el mismo especialista en prótesis de ortodoncia siguiendo unas pautas definidas:

- El tornillo estaba situado cranealmente a 4 mm de la unión visual entre la encía y la corona de los dientes. De esta manera se consiguió una misma simetría para todos los pacientes.
- Los brazos de acero inoxidable del tornillo Hyrax estaban perfectamente rectos sin presentar curvatura
 - El extremo distal de los brazos posteriores se situó a 1 mm cranealmente de la unión encía-corona del molar permanente en el punto medio (sagital) de la corona y a 3 mm de este en sentido transversal hacia la línea media sagital.
 - El extremo distal de los brazos anteriores se posicionaron 1 mm cranealmente de la unión distal de la encía-corona del primer molar temporal y 3 mm en sentido transversal hacia la línea media.

2º paso. Discretización del modelo CAD.

Malla-Mesh. Una vez realizado el CAD del disyuntor se procedió a la discretización de éste. En este caso se trataba de una estructura tridimensional, por lo cual, la división del continuo eran en superficies tetraédricas. En la figura 4.14. se puede apreciar que se obtuvo de la subdivisión 50 705 elementos interconectados por 75 288 nodos.

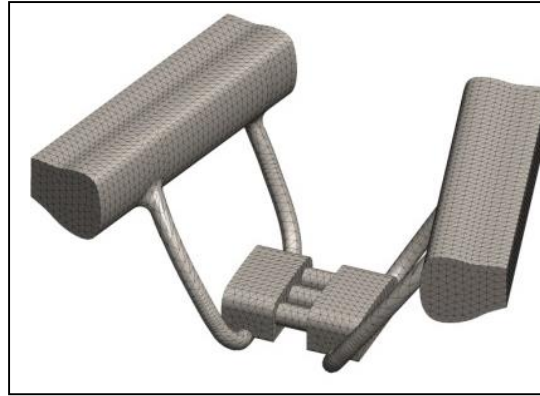


Figura 4.14. Discretización del disyuntor en superficies tetraédricas.

3^{er} paso. Análisis de MEF.

Antes de proceder a la simulación se caracterizó el comportamiento del modelo a través de unas condiciones óptimas.

Optimización del FEM. La optimización consistió en asegurar al sistema (MEF) una trayectoria óptima. Resultaba imposible optimizar un modelo si no se conocía profundamente las leyes que regía su comportamiento. En esta etapa cobra especial relevancia el hecho de asignar unas propiedades estructurales representativas de la realidad a los materiales que se simulan.

Las condiciones de la simulación pueden apreciarse en la tabla 4.4

Tabla 4.4. Parámetros experimentales aplicados a los materiales empleados en el estudio de simulación.

Parámetros experimentales	Condiciones en el estudio
Módulo de Young de acero inoxidable (Hyrax)	$E = 193 \text{ GPa}$
Módulo de Young de la resina acrílica	$E = 3.0 \text{ GPa}$
Cociente Poisson de acero inoxidable (Hyrax)	$\nu = 0.25$
Cociente Poisson de la resina acrílica	$\nu = 0.35$
Cero-desplazamiento y cero-rotación	Entre la unión interfase acero inoxidable – resina

En el MEF se especificó las siguientes simplificaciones: (Figura 4.15)

Simplificación 1: Simetría de cargas y deformaciones entre parte derecha e izquierda del disyuntor; por lo tanto, se consideraba el plano de simetría del disyuntor como superficie inamovible (flechas verdes).

Simplificación 2: Carga horizontal uniformemente distribuida a lo largo de premolares y molares; por lo tanto, se aplicaba una presión uniforme en la superficie vertical media aproximada del volumen de resina (flechas rojas).

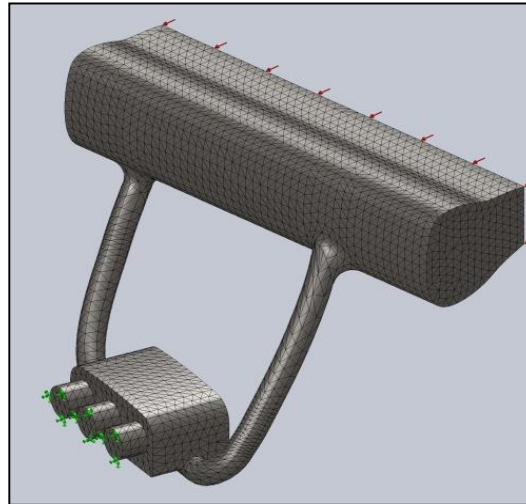


Figura 4.15. Malla-Mesh.

Como resultado del ensayo que se configuró y en el cuál se aplicó una fuerza distribuida de manera homogénea de 0.5 kg, se obtuvo una gráfica en la que se podía visualizar la distribución de la tensión. (Figura 4.16)

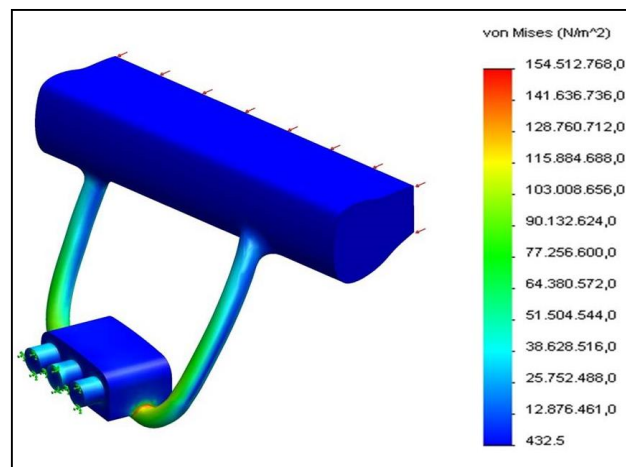


Figura 4.16. Tensiones: tensión de von Mises (carga 0.5 kg).

Mientras que la tensión que se producía en el componente no dependía del material, sino de la geometría ensayada, de las condiciones de contorno y de las fuerzas aplicadas, las deformaciones que se producían (figura 4.17) sí dependían de las propiedades del material. En cualquier caso, las zonas de mayor deformación corresponderían a las zonas de mayor tensión.

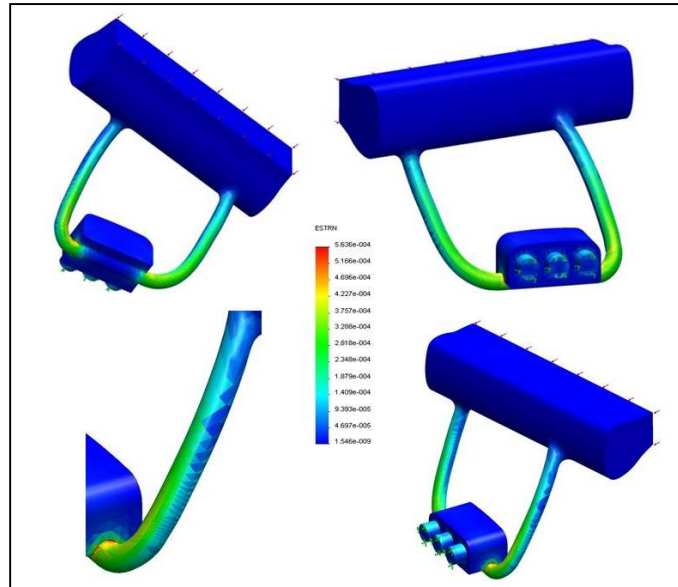


Figura 4.17. Deformaciones unitarias.

En el gráfico de la figura 4.18 se recogió el valor absoluto de la deformación unitaria equivalente, sin tener en cuenta el signo de la deformación (es decir, sin tener en cuenta si se acortaba o se estiraba el elemento). Las zonas de mayor valor de deformación en cada brazo (en verde-amarillo) eran aquellas en las que se debía emplazar las galgas extensiométricas para obtener una mayor sensibilidad de medida (*nota: la deformación representada no es exactamente la tangente a la superficie*).

Sin embargo, se debía tener en cuenta que aún siendo el mismo técnico de laboratorio el que había realizado todos los aparatos con una geometría predeterminedada, podía haberse realizado por complicaciones técnicas un doblado diferente de los brazos del aparato. En la figura 4.19 se ha simulado deformaciones según el eje y en una dirección vertical.

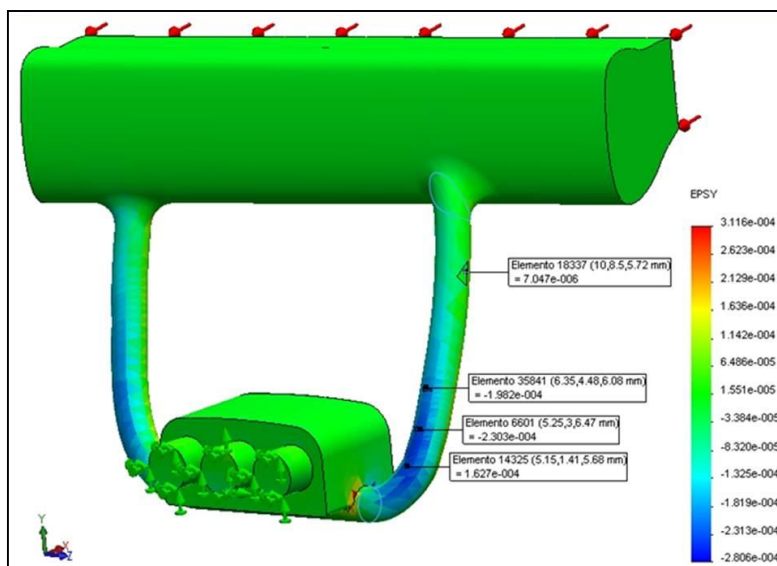


Figura 4.18. Deformación de los brazos con una fuerza vertical (líneas rojas).

El gráfico de la figura 4.18 recoge el valor de deformación unitaria según el eje vertical, considerando el signo de la deformación. Por lo tanto se puede apreciar las zonas sometidas a compresión (acortamiento-valor negativo, en azul) y aquellas sometidas a tracción (alargamiento-valor positivo, en amarillo). Para cada estado de cargas es posible determinar el valor de la deformación en cada uno de los elementos resultante de la simulación.

Es por ello que clínicamente cuando se registra datos positivos o negativos con el D4 se tiene que tener presente la geometría en particular del aparato que lleva el paciente y tenerlo en cuenta para analizar los datos.

Estas figuras y las gráficas que las complementan son los resultados del ensayo con una fuerza de 0.5 kg y corresponden a un hipotético caso de simetría, donde el lado izquierdo y derecho ejercen la misma fuerza (simetría de cargas, además de simetría en la geometría), además de las otras condiciones y simplificaciones consideradas. En esta situación, los resultados del ensayo permite justificar el posicionamiento de las galgas extensiométricas en cada brazo del disyuntor: superficie orientada hacia el plano de simetría de la cavidad bucal, y lo más cerca posible de la zona que aloja el tornillo. Por lo tanto, el objetivo 1 se consigue resolver.

En el anexo 4.2 se puede apreciar los datos introducidos para realizar el MEF del disyuntor sometido a fuerza, siendo las propiedades del estudio, las unidades, las propiedades del material, la carga y restricción, la sujeción, la carga, la definición del conector, del contacto y la información de la malla.

En el anexo 4.3 se resumen los resultados del MEF, detallando las fuerzas de reacción, las fuerzas de cuerpo libre, los momentos de cuerpo libre y el ensayo de la fuerza homogéneamente distribuida a 0.5 kg.

a1. Justificación del MEF para emplazar la galga.

La longitud de la particilíndrica del brazo del tornillo Hyraxera de aproximadamente 10mm (diámetro de 1,5mm) y las dimensiones de la cuadrícula de la galga eran de 0,51x0,38mm, existiendo cerca de 90 lugares teóricos en las que no se solaparían la cuadrícula de la galga en el brazo. Aunque no todos ellos eran en realidad posible, la sensibilidad de la galga (entendida como la deformación media alineada sobre el área de la cuadrícula para una carga constante aplicada en el tornillo) variaba en un factor 100 como una función de la ubicación. Se debía tener en cuenta que algunos de los lugares en los que se podía ubicar la galga podrían dar lugar a una lectura de tensión de casi cero debido al componente de carga deflexión en el brazo.

El AEF del tornillo nos permitió calcular la lectura de galga esperada para una cierta carga sobre el tornillo. Por lo tanto, fue posible identificarla localización óptima de la galga y evitar lugares poco sensibles. Por ejemplo, de

acuerdo con el AEF, la distribución uniforme de 20 newtones en el maxilar del paciente daría lugar a una lectura máxima de 1, 100 (valor $\times 10^6$) para una tensión en una zona del brazo anterior seleccionada y una lectura de casi cero en ubicaciones inapropiadas.

a2. Validación del AEF (localización de la galga).

Se realizó un test experimental para validar la simulación mecánica obtenida por el AEF. Se llevó a cabo una prueba de calibración del conjunto aparato-férula en donde la carga aplicada fue medida por un transductor de celda de carga y la lectura de los medidores de tensión se registró con el fin de establecer la relación entre la tensión medida y el tornillo de carga. El test de calibración dio aproximadamente un factor de sensibilidad de 57 y 42 para las galgas del brazo anterior y posterior, respectivamente, expresándose en microstrain por newton.

b. Esquemas e instrumentos para la Validación. (Objetivo 2)

Una vez se obtuvo los resultados sobre el comportamiento de las tensiones generadas tras la disyunción, se planteó la posibilidad de conocer el comportamiento del aparato disyuntor en los diferentes patrones de crecimiento vertical. El análisis experimental ofrecía un valor de deformación/tensión acumulada en cada galga extensiométrica (**modelo**), pero este valor se veía influenciado por la distribución de fuerzas que se generaba por la resistencia del cráneo a la expansión a lo largo del acrílico de todo el disyuntor. Es decir, que la resistencia que se generaba en la zona posterior del disyuntor, a través del acrílico se transmitía en el brazo anterior del tornillo Hyrax y viceversa con la resistencia ofrecida en la zona anterior. Por lo tanto, se puede hablar que el disyuntor actuaba como una interferencia que emborronaba la relación Brazo Anterior-Hueso Anterior y la relación Brazo Posterior-Hueso Posterior, y las mezclaba ligeramente.

Una manera de valorar que tensión se genera específicamente en cada zona es con un análisis de elementos finitos (AEF) cuya herramienta es el MEF. Una parte importante de dicho análisis es el de comparar las predicciones del modelo con resultados obtenidos en el laboratorio de manera experimental, es decir, validar los resultados. A partir del modelo de simulación se imita el desarrollo del sistema en el tiempo, considerando todos los factores que le acompañan (optimización) y realizando una analogía entre el modelo y el sistema real en condiciones naturales.

Con una validación correcta se podría conocer el comportamiento de una fuerza independiente sobre el disyuntor e incluso a través de ecuaciones conocer que fuerza se generó en cada uno de los pacientes durante las diferentes fases del tratamiento. La validación consistió en hacer que el

modelo fuese lo más semejante al real en funcionamiento. Para ello se siguió los siguientes pasos:

1^{er} paso. Obtención de un modelo CAD del disyuntor.

2^o paso. Discretizado.

3^{er} paso. Validar el sistema (comparar el análisis MEF-CAD con valores experimentales de laboratorio).

- Análisis MEF del modelo CAD.
- Análisis in vitro. Obtención de valores experimentales de laboratorio.

4^o paso. Relacionar los valores obtenidos experimentales clínicos al AFE y así obtener las fuerzas generadas en clínica (predicción de lo que tendría que haber pasado).

1^{er} paso. Modelo CAD-disyuntor.

Se utilizó el modelo CAD utilizado para localizar la zona ideal que reflejase mejor la deformación tras aplicar fuerzas conocidas.

2^o Paso. Discretización.

Malla-Mesh. Una vez realizado el CAD del disyuntor se procedió a la discretización de éste. En este caso se trataba de una estructura tridimensional, por lo cual, la división del continuo era en superficies tetraédricas (Figura 4.19).

- El tornillo Hyrax fue subdividido en 225 728 elementos interconectados por 332 234 nodos.
- La placa de resina se subdividió en 151 279 elementos y 217 313 nodos.

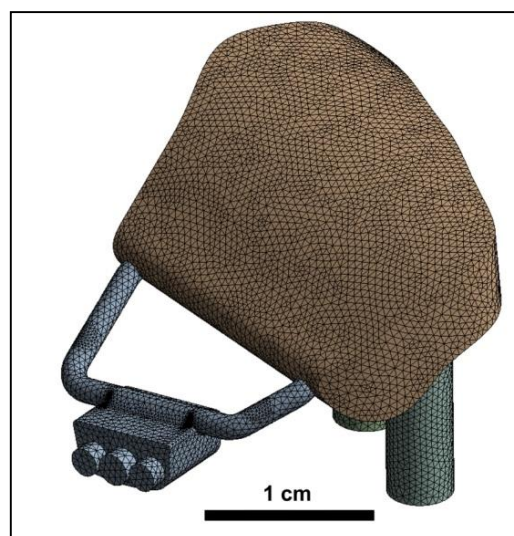


Figura 4.19. Mesh del disyuntor.

El análisis FEM realizado con el fin de obtener el punto más representativo de deformación del conjunto aparato EMR tras ser sometido a una fuerza, indicó la zona a colocar la galga. De manera que se procedió a realizar una discretización con elementos tetraédricos de menor tamaño (0.1 mm) (Figura 4.20). El tamaño de la rejilla de la galga es de un ancho de 0.51mm y un largo de 0.38mm. Incluyo indicación en el texto. En el modelo FEM se define una zona de control con estas dimensiones (para obtener la lectura simulada); además, se refina la malla en una zona de 1.5 mm alrededor de la zona de la galga, para mayor precisión de la simulación.

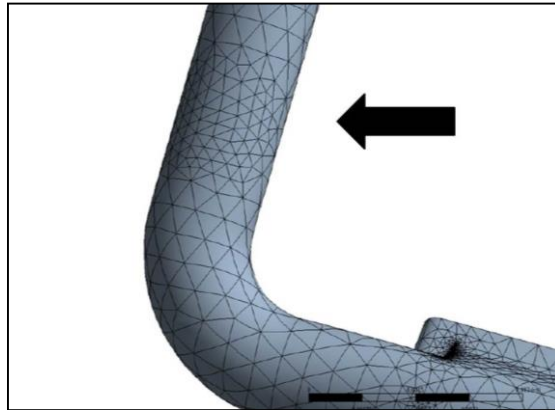


Figura 4.20. Detalle de la zona ideal para ubicar la galga extensiométrica. La flecha indica las subdivisiones de menor tamaño.

Cuantas más pequeñas sean las subdivisiones empleadas, mejor será el modelo, ya que se acercará más a una representación continua. Es decir, cuanto más grande sean las subdivisiones del modelo o continuo a estudiar, más se alejará de la realidad (Figura 4.21).

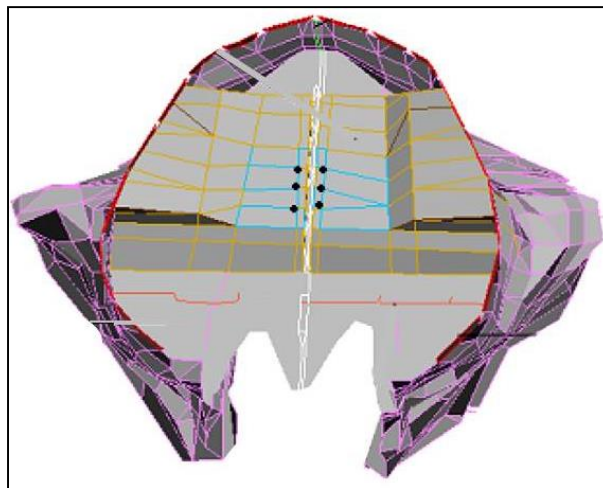


Figura 4.21. Discretizado de un maxilar realizado para valorar los cambios tras una expansión rápida del maxilar. Obsérvese que los elementos tetraédricos son de gran tamaño. Fuente: Provatidis CG, Georgiopoulos B, Kotinas A, McDonald JP. Evaluation of craniofacial effects during rapid maxillary expansion through combined in vivo / in vitro and finite element studies. European Journal of Orthodontics 2008; 30: 437–48.

Sensibilidad de malla. Se trata de un análisis que determina el efecto de cada una de las propiedades de malla en el resultado del análisis. Es de gran importancia en trabajos muy trabajados, donde el objetivo principal del trabajo es el propio modelo de elementos finitos (conocer como se comporta el modelo, no tanto el resultado del mismo). En nuestro caso, de carácter aplicado, con una geometría de disyuntor de tamaño contenido y pocos componentes, con materiales homogéneos, un análisis de la sensibilidad de malla no se considera de importancia capital, y puede que constituir un adorno en el proceso, sin aportar información adicional para la aplicación, que es donde nosotros hacemos hincapié. En cualquier caso, es algo que se hace de forma implícita durante el estudio de simulación, pero no se toman datos intermedios, sino que se optimiza y se utiliza el óptimo sin registrar los resultados intermedios.

3er paso. Validación.

Para validar el sistema es imprescindible realizar un análisis con el FEM.

Análisis MEF del modelo CAD. Al igual que para el objetivo 1 se va a optimizar el comportamiento del modelo a través de unas condiciones óptimas. Las condiciones de la simulación pueden apreciarse en la tabla 4.5.

Tabla 4.5. Condiciones de simulación aplicadas en MEF.

Parámetros experimentales	Condiciones en el estudio
Módulo de Young de acero inoxidable (Hyrax)	$E = 193 \text{ GPa}$ (gigapascal)
Módulo de Young de la resina acrílica	$E = 3.0 \text{ GPa}$ (gigapascal)
Módulo de Young de los dientes (esmalte)	$E = 90 \text{ GPa}$ (gigapascal)
Cociente Poisson de acero inoxidable (Hyrax)	$\nu = 0.25$
Cociente Poisson del esmalte	$\nu = 0.35$
Cero-desplazamiento y cero-rotación	Entre la unión interfase acero inoxidable - resina
Condiciones de simetría	Se consideró el aparato simétrico en los dos lados con un plano medio (plano medio sagital)

El modelado de la interfaz se considerado como una conexión totalmente rígida. Se puede comprobar tanto al cargar manualmente los disyuntores extraídos después de un tratamiento, como al cargar en el ensayo de validación, que no existe desplazamiento ni deslizamiento aparente entre resina acrílica y brazos metálicos del disyuntor. Se descarta el análisis de un modelo con otro tipo de conexión no rígida ya que daría resultados más alejados de la realidad.

El modelado de la geometría de los molares tiene como objetivo definir de forma aproximada la superficie de contacto entre molares y resina, la cual se puede observar en la figura 11 (con un módulo de Young de 90 GPa correspondiente al módulo de Young del esmalte). Dado que no se analiza lo que sucede dentro de los molares, no se considera relevante la inclusión de los molares en el modelo (el modelado de los molares tiene un carácter auxiliar, se limita a la superficie de las coronas. Los molares se modelan como macizos, sin dentina ni raíz, lo cual obviamente no es representativo del diente real).

La fuerza aplicada se realizó de manera transversal y perpendicular al plano medio sagital. Eran fuerzas de 2.5 a 55 Newtons (F1 y F2) en la zona anterior y posterior del acrílico vestibular del aparato, 3 mm por debajo de la superficie oclusal (Figura 4.22). Obviamente las fuerzas no fueron puntuales y tampoco lo fueron en el modelo, sino que se aplicaron de forma distribuida en un área ligeramente inferior a la sección del molar. En cualquier caso, fuesen puntuales o no, dado que la corona del molar era mucho más rígida que la resina acrílica y no se estaba analizando el molar, el efecto en la resina no varió sensiblemente.

Tanto para el MEF como para el ensayo de laboratorio experimental (ensayo mecánico) que la fuerza sea 2,5 o 25 es irrelevante, dado que la simulación es en régimen elástico lineal, el valor exacto de la fuerza no modifica significativamente la distribución de tensiones (distribución de colores), solo modifica el número de la escala en la figura 4.23.

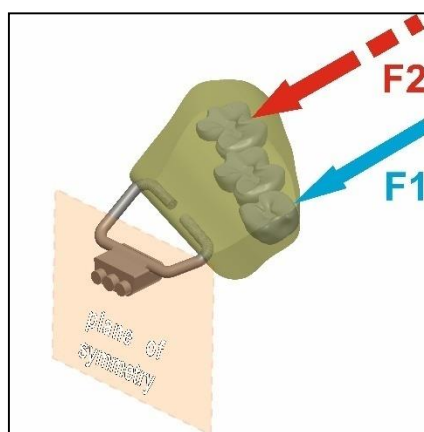


Figura 4.23. Esquema de localización y el modo de las fuerzas aplicadas.

En este estudio se ha diferido ligeramente las cifras referenciadas en el trabajo de Verrue et al. y que han sido utilizadas en varios estudios (Verrue et al. 2011). La explicación de este hecho reside en que se ha solicitado al suministrador de los disyuntores información sobre el material específico de los mismos, y se han empleado los valores de las constantes elásticas correspondientes los materiales especificados. Mientras que el Módulo de Young empleado en el trabajo de Verrue et al. fué de 206.8 GPa y 2 GPa, en la

presente tesis doctoral se asignó un Módulo de Young 193 GPa (acero inoxidable 303/301) y 3 GPa (resina acrílica), respectivamente. Los valores empleados para el coeficiente de Poisson fueron 0.25 (acero inoxidable) y 0.35 (resina), respectivamente. En cualquier caso, es preciso mencionar que las diferencias geométricas de los disyuntores de los diferentes estudios de otros autores tienen una mayor influencia potencial en el resultado de las simulaciones que las diferencias asociadas al empleo de disyuntores de diferentes aleaciones de acero inoxidable. Los valores fueron incorporados en la base de datos del software (ANSYS Multiphysics, ANSYS Inc., Canonsburg, USA) (Figura 4.24).

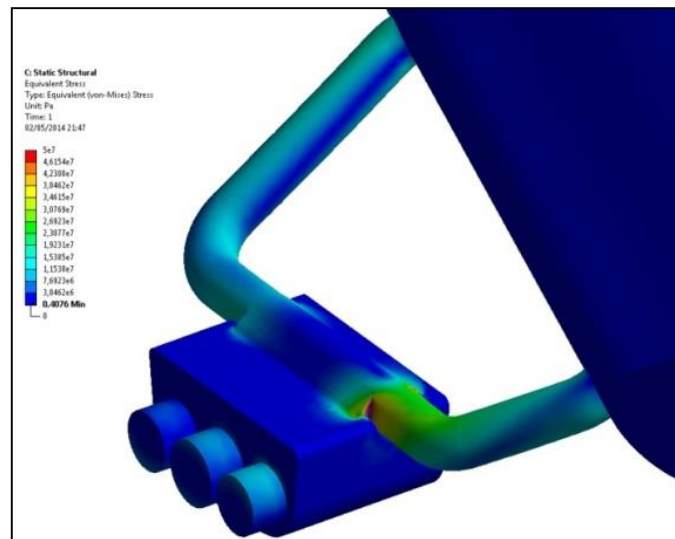


Figura 4.24. Imagen que divide la malla en colores según la cantidad de deformación tras 0.5 Newtons.

Mediante ecuaciones matemáticas, en las que se conocía el cociente tensión-fuerza, se definió los valores de deformación generados en la zona de las galgas anteriores y posteriores, tratándose de una función lineal de las fuerzas F1 y F2.

$$\begin{bmatrix} A \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta_{A1} & \delta_{A2} \\ \delta_{B1} & \delta_{B2} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} F1 \\ F2 \end{bmatrix}$$

Obtención de valores experimentales de laboratorio (ensayo mecánico).

Una vez obtenidos los valores a través del análisis MEF se procedió a la obtención de modo experimental de una reproducción de las fuerzas F1 y F2 (que cubrió de 10 a 55 N).

Para ello, se colocó un disyuntor, realizado con las mismas características utilizadas en clínica, en una plataforma motorizada xy 531.PD (Physik Instrumente, PI GmbH & Co. KG, Palmbach, Germany) en la cual se

realizan los desplazamientos. Se aplicó fuerzas conocidas en las zonas indicadas y se midió con transductores de células de carga (Figura 4.25).

Durante la transducción de las fuerzas, se fueron registrando las señales emitidas por las galgas extensiométricas. De manera que se obtuvo unos valores in vitro que simulaban las condiciones aplicadas en el análisis MEF para poder ser comparados.

4º Paso. Obtención de las fuerzas generadas en clínica.

Una vez validado el sistema, se demostró que a través de las ecuaciones utilizadas en el análisis MEF, se podía obtener resultados equiparables a los resultados en laboratorio. De modo que si se la matriz de la ecuación se invertía, se podía determinar las fuerzas F1 y F2 de las deformaciones experimentales en clínica medidas para la galga A y B. La ecuación sería la siguiente:

$$\begin{bmatrix} F1 \\ F2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta_{A1} & \delta_{A2} \\ \delta_{B1} & \delta_{B2} \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} A \\ B \end{bmatrix}$$

Así pues, se obtendrá las fuerzas generadas en F1 y F2 de todos los pacientes.

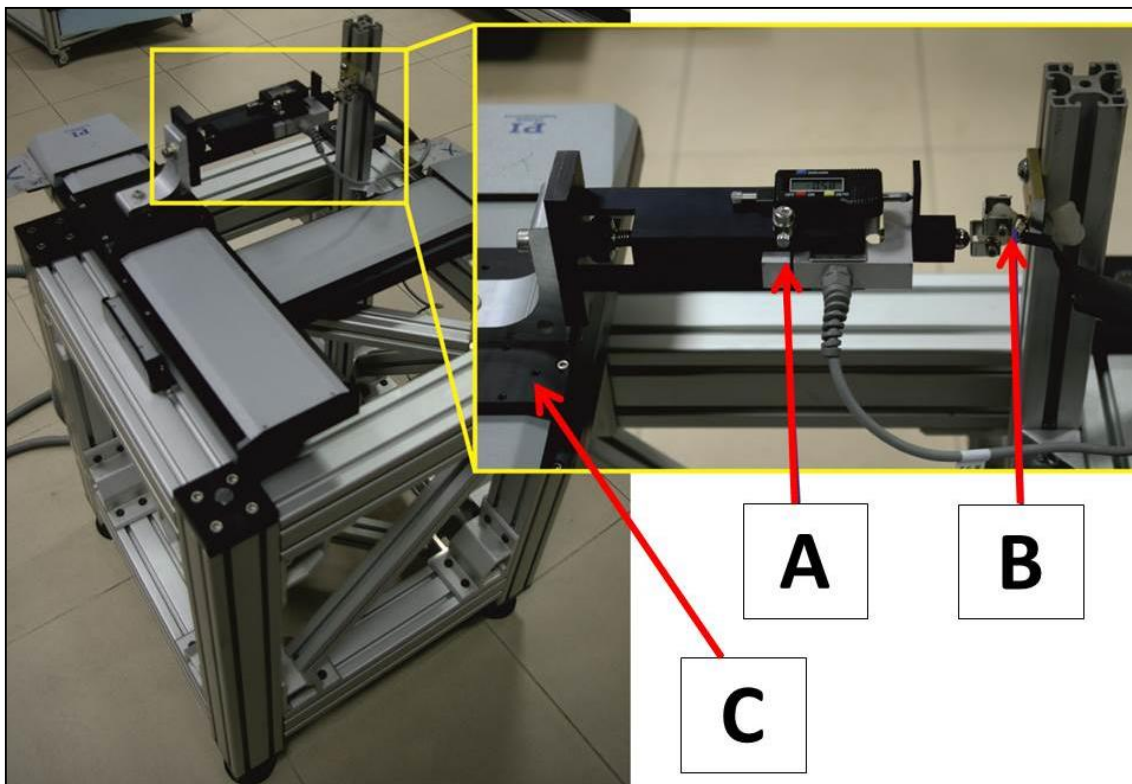


Figura 4.25. Plataforma motorizada xy 531.PD. A Sensor de fuerza. B Aparato disyuntor fijado. C Base de la plataforma.

4.2. Procedimiento clínico.

4.2.1. Cronograma.

4.2.1.1. Fase de reclutamiento.

Se realizó desde mayo de 2012 hasta fin del mismo año.

- **Visita 1.** Se entrevistó a los padres explicándoles las características del estudio, su objetivo y su justificación. Se exploró al paciente y se evaluó si era apto en función de los criterios de inclusión. Si el paciente era candidato ideal, se realizaba cuestionario oral a los padres. En el caso que los pacientes no aceptasen el tratamiento se les ofrecía la alternativa de realizar el mismo tratamiento pero sin aplicación láser (según las pautas éticas) y en el caso de no ser aptos para el estudio, si el paciente presentaba una maloclusión a ser tratada se les daba la opción de ser derivados al servicio de ortodoncia indicado. Ese mismo día, si los pacientes aceptaban el presupuesto, se realizaba la historia clínica, se tomaba los registros de modelos y se les realizaban las radiografías oportunas, enviando los modelos al laboratorio dental para confeccionar el disyuntor. Además se les leía a los padres el consentimiento informado y se firmaba este una vez aclaradas las dudas.

4.2.1.2. Fase activa.

La duración en función de la disyunción a realizar era aproximadamente entre 4 y 5 semanas y las visitas fueron semanales.

- **Visita 2.** Colocación del aparato disyuntor e instrucciones de higiene oral. Se les explicaba como activar el aparato e indicaciones de que hacer en caso de dudas o urgencias. Ese mismo día se tomaba el primer registro de tensión.
- **Visita 3.** Revisión de la aparatología, medida de la tensión, aclaración de dudas surgidas durante la primera semana y valorar si el paciente necesita más activación o no.

Cabe decir que las visitas fueron semanales y se repetía los pasos de la tercera visita hasta que se obtenía una expansión con una sobrecorrección del 50% de la mordida cruzada.

4.2.1.3. Fase retención.

La duración fue de 10 semanas siendo las 3 primeras semanales (visitas 4-6) y el resto quincenales (7-10).

- Visita 4. Fijación del tornillo de activación, higiene oral del aparato, medida de la tensión y primera aplicación láser. Los pacientes placebo se les aplicó la sonda del láser (mismo tiempo y puntos de aplicación) con el dispositivo apagado. Como se comentó el aparato láser tenía la posibilidad de realizar irradiación en modo A y en efecto placebo modo B. En esta misma visita se derivó al paciente para realizar tomografía computarizada a primera hora del día siguiente.
- Visita 5. Irradiación laser modo A/B y limpieza aparato.
- Visita 6. Medida de la tensión, irradiación modo A/B y limpieza aparato.
- Visita 7. Medida de la tensión, irradiación modo A/B y limpieza aparato.
- Visita 8. Medida de la tensión, irradiación modo A/B y limpieza aparato.
- Visita 9. Medida de la tensión, irradiación modo A/B y limpieza aparato.
- Visita 10. Medida de la tensión, irradiación modo A/B y retirada aparatología más toma de registro de alginato superior. Se derivó para realizar tomografía computarizada a primera hora del siguiente día.

4.2.1.4. Fase control a corto-medio y largo plazo.

La duración fue de siete meses y medio. Siendo la primera visita al mes y medio y el resto cada 3 meses. Los pacientes siguieron en fase control de su evolución por los pacientes de posgrado del Máster de Ortodoncia o bien por los odontólogos de sus centros de atención primaria, de los cuáles fueron derivados. En los casos en que el paciente requirió un sistema de retención fija o bien otro aparato se realizó.

- Visita 11. Control de la mordida cruzada (ver si se había corregido realmente y si había recidivado).
- Visita 12. Control de oclusión.
- Visita 13. Control de oclusión.

A partir de los 7 meses y medio de retención se les indicó a los padres o tutores la posibilidad de recibir controles periódicos por parte del servicio de Ortodoncia de pregrado, siendo 5 el número de pacientes que decidieron proseguir con las revisiones semestrales o anuales.

4.2.2. Protocolo de activación del disyuntor.

Cabe tener en cuenta que el tornillo que se utilizó para la disyunción (realizado de acero inoxidable AISI 303 y AISI 301 /167-1326, Forestadent,

Pforzheim, Germany y resina 403-0010- Forestacryl, Forestadent, Pforzheim, Germany) se abría 0.2 mm por cada activación que se realizaba, de modo y manera que se decidió activar el tornillo 0,4 mm al día tal y como se ha realizado en otros estudios (Multinelli et al. 2008, Adkins et al. 1990). La activación máxima que permitía el tornillo utilizado en el estudio era de 10 mm. La activación puede diferir entre autores, habiendo autores que activaban el tornillo 4 veces al día, y autores que decidieron solo 2 activaciones diarias, ya que era suficiente para que se abriese la sutura de manera eficaz y rápida (Haas 1961, Brosh et al. 1998). Por experiencia personal de los autores, cuando se realizaba 4 activaciones diarias se producía la separación entre incisivos superiores en el día 2 o 3, lo cual producía una sorpresa a los padres y estos dejaban de activar por temor a que pudiese sucederle algo al niño y por consiguiente la interrupción del tratamiento sin causa justificada.

En las visitas de fase de activación el clínico evaluó el momento en el que dejar de activar y esta fue cuando se consiguió un 50% de sobrecorrección de la expansión necesaria del paciente para corregir su mordida cruzada. Clínicamente solía coincidir cuando las cúspides palatinas de los molares superiores estaban borde a borde con las cúspides vestibulares de los molares inferiores.

Ejemplo: Si se supone que el paciente necesitaba 4 milímetros para conseguir la corrección, se debía ensanchar hasta 6 mm.

4.2.3. Protocolo de irradiación LASER – (Parámetros de la aplicación).

Los parámetros de irradiación y de tratamiento utilizados para este estudio se especifican a continuación en la tabla 4.6.

Tabla 4.6. Parámetros de irradiación y de tratamiento aplicados a los pacientes.

Parámetros de irradiación			
	Valor	Unidad	Método de medición o fuente de información
Longitud de onda	660	Nm	
Modo de operar	Modo continuo		
Potencia de radiación media	200	mW	
Beam area 1/e ²	0.260	cm ²	
Irradiance at target o Power density	0.665	mW/cm ²	0.2W x 86.5% / 0.26 cm ² = 0.665 W/cm ²
Beam shape	7	Mm	Redondo
Parámetros de tratamiento			
	Valor	Unidad	Nota
Duración de la exposición	A 60 / B 30	S	
Energy por punto	A 12 / B 6	J	
Energy density por punto	A 40 / B 20	J/cm ²	
Número de puntos irradiados	6		1 punto en el área vestibular y 5 en el área palatina.
Técnica de aplicación			Contacto y perpendicular a la mucosa.

4.2.3.1. Parámetros de irradiación.

En la tabla se detalla las características técnicas que se emplearon destacando que una longitud de onda de 660 nm fue aplicada de manera continua con una potencia media de 200 mW sobre una *beam* área de 0.260 cm² (7 mm de diámetro).

A continuación se detalla la fórmula matemática para obtener la Irradiancia (Power density - I) y los pasos a seguir para obtener el Energy por punto y por sutura y el Energy density (parámetros de tratamiento).

La formula de la Irradiancia se expresa de la siguiente manera:

$$I = \frac{P}{A} = \frac{0.2 W \times 86.5\%}{0.260 cm^2} = 0.665 W/cm^2$$

P = Output Power (W), A = área del haz de un láser Gaussiano (cm²)

4.2.3.2. Parámetros de tratamiento.

Para poder describir dichos valores se tuvo en cuenta la elección del tiempo de irradiación, la cual fue seleccionada en función de la profundidad que se quería tratar y de la dosis que se quería administrar por cm².

Profundidad (d). Para valorar la profundidad que se quería abarcar se utilizó un monoTC del archivo electrónico del servicio de Radiografía del propio Hospital Odontológico. Universitat de Barcelona. De este se seleccionó aleatoriamente cortes de pacientes con dentición mixta y se observó que con 0.5 cm de profundidad (plano sagital) era suficiente para llegar a la zona diana (Figura 4.25).

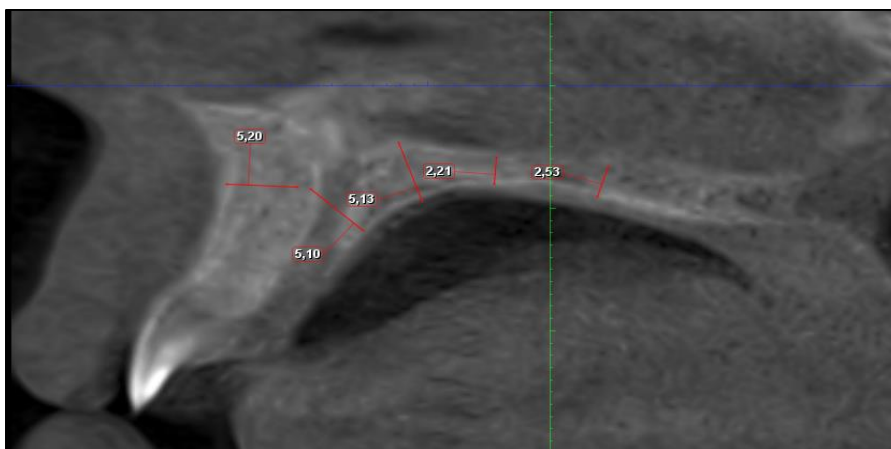


Figura 4.26. Corte axial de un paciente en dentición mixta en donde se aprecia mediciones en los puntos a irradiar. En la zona anterior con 0,5 cm prácticamente no se superponen las zonas irradiadas.

Dosis (D). Se creyó oportuno para bioestimular la zonas diana que se irradiasen entre 15-30 Joules tal y como se ha realizado en artículos relacionados (Angeletti et al. 2010, Cepera et al. 2012).

Una vez conocida la dosis y la profundidad, se utilizó la siguiente fórmula para obtener el tiempo (t):

$$t = \frac{DxA}{P} x(1 + d) = \frac{20 x 0.4}{0.2} x(1 + 0.5 - 1) = 60 \text{ segundos}$$

**P = Output Power (mW), A = área (cm²), J = Joules, t = segundos
1 Joule = Ws (vatio-segundo) y d 0.5 (cm).**

Obtenida la cantidad de segundos que se iban a utilizar para la distancia seleccionada ya se pudo calcular el Energy por punto y el Energy density:

$$\text{Energy por punto} = \frac{Pxt}{1 \text{ cm}^2} = \frac{200 x 60}{1000} = 12 \text{ Joules}$$

$$\text{Energy density} = \frac{Pxt}{A} = \frac{0.2 x 60}{0.26} = 40 \text{ Joules}$$

**P = Output Power (mW), A = area (cm²), J = Joules, t = segundos
1 Joule = Ws (vatio-segundo) y d 0.5 (cm).**

a. Técnica empleada.

Debido a que la separación ortopédica de la sutura era mayor en la zona anterior, respondiendo a una geometría de apertura de patrón triangular, en donde la base más ancha estaba en la porción anterior del maxilar (Haas 1965) y por lo tanto con mayor defecto óseo, se decidió someter a dicha zona a mayor irradiación. Se administró 12 J por vestibular y 12 J por palatino de la zona sutura anterior medio palatina (MPAS), siendo valores coincidentes con los de otros autores (25,2 J) (Angeletti et al. 2010). A continuación se irradió la zona ósea media palatina (situada a proximal del aparato) y por último un punto en sutura palatina posterior (distal a disyuntor)(Figura 4.27).

Se aplicó láser con la Spot technique a lo largo de toda la sutura y se realizó en contacto con la mucosa. De esta manera se evitó que la luz se reflejase y porqué de esa manera se aseguraba que el poder de penetración de los láseres de luz visible roja (630-700 nm) que se sitúan entre 0´5-1 cm, llegasen a toda la área sutural y parasutural en los 3 planos del espacio.

Por lo tanto se aplico 12 J en los puntos A, 6 J en los puntos B y el total de Energy por sutura fue de 60 J.

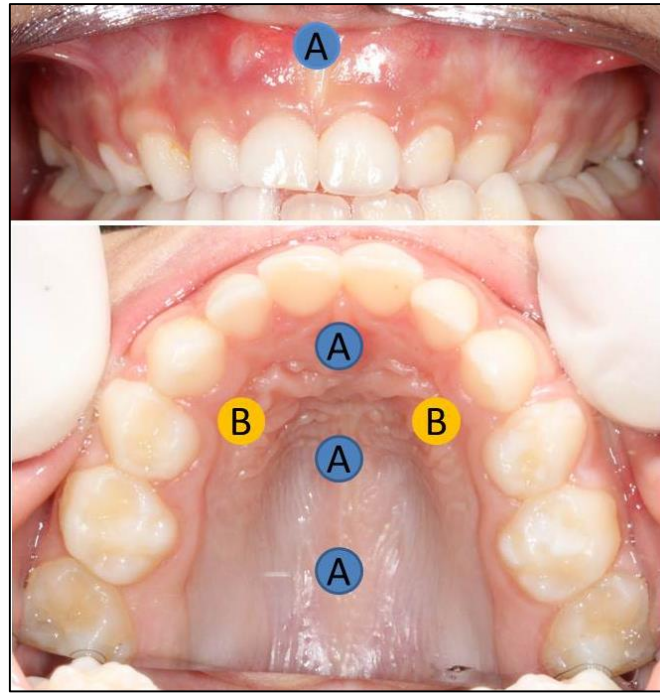


Figura 4.27. Puntos en donde se coloca la sonda del láser.

4.2.4. Criterio para controlar la recidiva.

Durante las fases de control se evaluó a los pacientes para comprobar el estado de sobrecorrección conseguida. Lo normal era esperar la recidiva y se determinó que el límite de recidiva sería la sobrecorrección del 20%, coincidiendo con el engatillado perfecto a nivel de los primeros molares superiores e inferiores.

Ejemplo: Si se supone que la sobrecorrección del 50% en un paciente es de 3 milímetros, el 100% sería de 6 milímetros. Por lo tanto se debería dejar recidivar hasta 1,2 milímetros de sobrecorrección.

4.3. Análisis de los datos.

4.3.1. Análisis descriptivo.

Se ha realizado una descripción completa de las siguientes variables, detallando los sujetos válidos y los perdidos, la media, la mediana, la moda, la desviación típica, el rango, los valores máximos y mínimos y los percentiles.

4.3.2. Análisis inferencial- Contraste de hipótesis.

El nivel de significancia para todas las pruebas y test fue de 0.05. Todos los cálculos estadísticos se realizaron con el programa software SPSS versión 11.5 (SPSS, Chicago. Ill, USA).

4.3.2.1. Relación entre las variables características paciente.

a. Homogeneidad de la muestra.

Para comprobar que no existía diferencias entre la variable género y la variable maduración esquelética de los pacientes sometidos al estudio de la tensión se empleó la prueba de Mann-Whitney, considerando dos variables de maduración (nivel 1 y nivel mayor que 1), con lo cual se aseguraba que todos los pacientes analizados presentaban el mismo estadio de maduración.

Para valorar que existía homogeneidad entre los pacientes irradiados y los placebo se utilizó la prueba de Chi-cuadrado de Pearson para el sexo y la prueba de muestras independientes (Levene/para la igualdad de las varianzas y Prueba T/para la igualdad de las medias) para la edad.

4.3.2.2. Relación entre las variables relacionadas con el estudio de la tensión.

a. Análisis de la diferencia de tensión entre el momento T2 y T7.

- General. Test de medidas repetidas de Wilcoxon. Trataba de demostrar que el hecho de llevar el disyuntor y ser activado producía tensión acumulada. Se realizó para el brazo Anterior y Posterior.
- Pacientes irradiados/placebo. Test de medidas repetidas de Wilcoxon.
- Tipo de patrón de crecimiento vertical. Prueba de Kruskal-Wallis de muestras independientes. Se utilizó esta ya que la variable es policotómica.

b. Análisis de la relación entre los momentos T1-T7, brazos A y B y tipo de patrón de crecimiento vertical.

c. Análisis de la disipación de tensión.

Se trata de valorar si existe relación entre la diferencia de tensión máxima entre T2 y T7 (periodo de activación) y T7.

- Pacientes irradiados/placebo. Prueba U de Mann-Whitney de muestras independientes.
- Tipo de patrón de crecimiento vertical. Prueba de Kruskal-Wallis de muestras independientes.

d. Análisis de la recidiva.

Se valoró si existía relación entre si existió recidiva o no y las variables irradiación/placebo y tipo de patrón de crecimiento vertical a través de tablas de contingencia. Posteriormente la significación estadística fue evaluada con la prueba de Chi-Cuadrado de Pearson. Se realizó el mismo análisis para el momento de la recidiva y las variables irradiación/placebo y tipo de patrón de crecimiento vertical.

4.3.2.3. Relación entre las variables relacionadas con el análisis de elementos finitos.

Se trató de relacionar los tres patrones de crecimiento vertical de los pacientes con la diferencia entre la Fuerza 1 y 2 con la Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes.

4.3.2.4. Relación entre las variables de los hallazgos radiológicos tras aplicar láser.

a. Análisis de la distancia intrasutura.

Para las variables continuas lo primero fue valorar si se cumplía la normalidad y para ello se utilizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov y de Shapiro-Wilk. Para los casos en que no se cumplió la normalidad se utilizó el test no paramétrico).

- Relación entre distancia y ser irradiado/placebo. Se empleó *la prueba de muestras independientes (Levene/para la igualdad de las varianzas y Prueba T/para la igualdad de las medias)*.
 - Para las variables que no cumplieron con la normalidad se realizó la prueba U de Mann-Whitney de muestras independientes.
- Relación entre tensión y distancia máxima hallada en sutura maxilar. Correlación realizada con el coeficiente Rho de Spearman.

b. Análisis de las variables cualitativas.

- Relación entre características de la sutura y ser irradiado/placebo. Se usó la prueba de Chi-Cuadrado de Pearson.
- Para relacionar la cantidad de elementos aproximados se empleó la prueba de U de Mann-Whitney de muestras independientes.

4.3.2.5. Análisis de la concordancia entre examinadores.

Para valorar el grado de coincidencia entre los dos ortodoncistas para valorar el tipo de crecimiento vertical, se utilizó el Índice Kappa. Se trata de

datos cualitativos y cuanto más próximo a 1 mayor era la coincidencia. Con los datos cuantitativos aportados por el resultado del Coeficiente de VERT se utilizó la medida de medición ICC (coeficiente de correlación intraclase). A partir de un valor de 0,75 (siendo el máximo 1), la concordancia se consideró muy buena.

Para la concordancia entre radiólogos se empleó el índice Kappa, ya que las características de la sutura que tenían que analizar eran valores cualitativos.

4.4 Medidas para suspender el tratamiento.

4.4.1. Dificultades y limitaciones.

Incomprensión de las instrucciones. Si después de haber instruido a los padres para la activación del tornillo no eran capaces de realizar el giro, se podía optar por activar el tornillo en el horario de clínica del servicio de posgrado. La imposibilidad de poder cumplir con el protocolo de activación, comportaba la exclusión del paciente y por lo tanto se tenía que optar por resolver la maloclusión del paciente con un aparato o un protocolo de activación que no requiriese la colaboración de los padres.

Poca colaboración de los padres. Exclusión del estudio y se intentó realizar otro tratamiento que dependiese en menor medida de la colaboración de los padres.

Mala higiene oral. La acumulación de restos de alimentos entre el aparato disyuntor y el tejido oral blando del paciente podía dar origen a la gingivitis. Si esto le sucedía al paciente, este se incorporaba al programa de Instrucciones de Higiene Oral, en donde se instruía de manera intensa la limpieza bucal y se le facilitaba las herramientas adecuadas para facilitar la actividad. Si el paciente no mejoraba, se retiraba los aparatos, se hacía higiene y se colocaba un aparato de contención provisional hasta que se decidiese que aparato era el más idóneo para el paciente. Automáticamente, quedaba excluido del estudio.

Problemas para deglutir y hablar. En el caso que no se permitiese dichas funciones básicas se debía retirar y colocar otro tipo de aparato excluyéndose del estudio. *Experiencia dolorosa.* Producto de la isquemia, de la ulceración y del sangrado de los tejidos por la compresión del aparato contra el tejido blando del paladar. En este caso se adoptaría las mismas medidas que en el problema anterior.

Epistaxis frecuente. Si la hemorragia era ligera y dejaba de sangrar con un tiempo prudencial, se debía continuar el tratamiento con normalidad. Si se repetía diariamente o se producía espontáneamente durante el día, se debía dejar de activar y probar de activar de una manera menos periódica. Si

continuaba sangrando con un protocolo diferente se debía cambiar de aparato. Tanto el cambio de aparato como la diferencia de activación comportaban la exclusión del estudio.

Inclinación de los dientes posteriores. Se podía producir rotación de la mandíbula en sentido horario produciendo una mordida abierta y un incremento de la altura facial. Por ello en el momento de realizar el estudio del paciente, se debía tener controlado a los pacientes con patrón de crecimiento hiperdivergente y asegurar que el contacto de la resina con los dientes inferiores era correcto y sin inclinación de la resina.

Recesiones gingivales, pérdida de hueso y reabsorciones de las raíces. Parar el tratamiento y dejar recidivar. Continuar con el tratamiento si se estabilizaba el ligamento periodontal y continuar con otro aparato y expansión lenta quedando excluidos del estudio.

Efectos derivados del láser. Se detalla en el apartado 4.4.3.

Pronóstico negativo. Si se sospechaba que no se había producido la separación ortopédica de la sutura, se debía haber optado por:

- Suspensión y volver a probar con otro aparato de expansión con una activación más lenta.
- Permitir recidivar y optar por una disyunción quirúrgicamente asistida (en edades más avanzadas).
- Utilizar el disyuntor como aparato ortodóntico y activarlo de manera más lenta (1 activación por semana) para obtener una expansión del proceso dento-alveolar.

Las tres opciones supondrían la exclusión del estudio.

La etiología de la falta de separación podía deberse a que la relación entre la resistencia del anclaje (los dientes) y la sutura ya no era favorable, como es el caso de un aumento progresivo de la osificación de la sutura (sinostosis) dependiendo de la edad del paciente o bien de condiciones periodontales comprometidas.

Cada vez que el paciente era examinado por el profesional, estos puntos debían ser evaluados o bien preguntar a los padres, dejando anotado los hechos en el anexo 4.1 (apartado incidencias) que formaba parte de la historia clínica.

Las incidencias eran revisadas cada 2 semanas por el investigador principal que debía adoptar las pautas a seguir.

A su vez, se anexo los criterios de normalidad que debían cumplir los pacientes durante todo el tratamiento (Anexo 3.4).

4.4.2. Tratamiento alternativo de los pacientes excluidos.

En el caso que no se hubiese podido llevar a cabo la expansión ortopédica por las causas comentadas en el apartado anterior, se podría

intentar resolver la maloclusión con una expansión ortopédica. Esta se realizaría con aparatos fijos convencionales o bien con placas de expansión removible, pero con el resultado de los movimientos laterales de los procesos dento-alveolares. Estos casos corresponderían a los pacientes con una discrepancia transversal intermaxilar ligera. En caso de sinostosis o bien de discrepancias transversales mayores, se debería realizar intervención quirúrgica y se esperaría el momento ideal para realizarlo.

4.4.3. Reacciones adversas del láser de baja intensidad.

Pocas son las reacciones adversas que podían producir el láser de baja intensidad, sin embargo, el paciente en un periodo de 24 horas tras la terapia de láser pudo describir las siguientes sensaciones:

- Sensación de calor localizado.
- Hormigueo o cosquilleo.
- Un aumento o disminución de los síntomas.
- Náuseas, mareo o vértigo.

Si estas reacciones persistían o las reacciones al tratamiento eran severas se tendría que haber suspendido la terapia láser.

4.4.4. Póliza de seguro.

INTERORAL VGG, S.L. con CIF B-09520453 contrató en calidad de prestatario y asegurado, la póliza de Responsabilidad Civil I Nº CE000343677, que cubre la responsabilidad civil derivada del estudio de investigación.

Esta póliza cubre el Centro Hospital Odontològic. Universitat de Barcelona y a los investigadores Josep Maria Ustrell i Torrent, Patricia Carvalho Lobato y Valentín Javier García García.

La copia de la póliza está anexada como 4.5.

4.5. Pautas éticas.

4.5.1. Declaración de compromiso.

Los directores Dr. Ustrell i Torrent y Dra. Carvalho Lobato, la tutora Dra. Manzanares Céspedes, junto con el doctorando Valentín Javier García García afirman que pondrán en funcionamiento, aplicaran los métodos y medidas

necesarias para llevar a término el estudio descrito cumpliendo con las **21 Pautas Éticas Internacionales** pactadas en Ginebra en 2002 para la investigación en humanos.

4.5.2. Beneficio de la investigación para los pacientes.

Principales. Obtener una expansión ortopédica estable del maxilar superior. El beneficio para el paciente radica en las recidivas que se producen en los años posteriores al tratamiento.

Secundarios. Menos tiempo de retención fija (no interfiriendo con el desarrollo intrínseco de la expansión del paladar) i por lo tanto menos problemas de acumulación de restos de alimento e inflamación de las encías (problemas periodontales) con los dientes que se utilizan como anclaje.

4.5.3. Consentimiento informado.

El consentimiento informado fue elaborado con los apartados que recomendaba el art. 15.2 de la Ley 14/2007, de 3 de julio, de Investigación Biomédica:

- a. Objetivo, metodología y duración del estudio.
- b. Procedimientos preventivos, diagnósticos y terapéuticos disponibles.
- c. Beneficios esperados, posibles riesgos y reacciones adversas durante el ensayo.
- d. Medidas para asegurar la confidencialidad de los datos personales.
- e. Medidas per acceder a la información relevante para el sujeto, que puedan surgir de la investigación.
- f. Derecho a revocar o dejar el estudio en cualquier momento sin que sea perjudicial para los participantes.
- g. Medidas para asegurar una hipotética compensación en caso de ocasionar daño.
- h. Identidad del profesional responsable de la investigación.
- i. Cualquier futuro uso potencial de los resultados de la investigación.

El investigador principal explicó de manera oral y por escrito dicho consentimiento, resolviendo en todo momento las dudas que les surgía a los padres o tutores de los niños. Además se garantizó el anonimato de los datos de los individuos.(artículo 3 y 4 de la ley 14/2007).

El consentimiento informado empleado para este estudio se encuentra en el anexo 4.6.

4.6. Diseño de la revisión bibliográfica.

4.6.1. Estrategia de la búsqueda.

En la tabla 4.7 se detalla la estrategia empleada para buscar artículos en las diferentes bases de datos.

Tabla 4.7. Estrategia de búsqueda y las diferentes bases de datos.

Base de datos	Palabras clave	Periodo de búsqueda	Resultados	Artículos incluidos
MEDLINE_ PubMed	(low level laser therapy AND orthodontic movement)	1984-2012	32	20
	(CO2 laser AND tooth movement)	1984-2012	1	0
	(CO2 laser AND orthodontic movement)	1984-2012	0	0
	(low power laser AND orthodontic movement)	1984-2012	1	1
	(low energy laser AND orthodontic movement)	1984-2012	0	0
	(Ga-Al-As diode laser AND orthodontic movement)	1984-2012	0	0
	(low level laser AND orthodontic movement)	1984-2012	4	4
	(phototherapy AND orthodontic movement)	1984-2012	3	3
Scopus - V.4 (Elsevier).	1. (low level laser therapy AND orthodontic movement)	2005-2012	23	15
SciVerse	2. Dental Movement.mp [mp = title, original title, abstract, name of substance word, subject heading word]			
Web of Science (Thomson Scientific/ISI Web Services)	(low level laser therapy AND orthodontic movement)	2000-2012	0	0
ProQuest Health & Medical Complete (Cambridge Scientific Abstracts)	Low level Laser.mp [mp = title, original title, abstract, name of substance word, subject heading word]	2001-2012	3	0
(ProQuest XML)	2. Dental Movement.mp [mp = title, original title, abstract, name of substance word, subject heading word]			
AMED: Allied and Complementary Medicine Database	(low level laser therapy AND orthodontic movement)	2001-2012	1	0
Biblioteca Cochrane Plus	(low level laser therapy AND orthodontic movement)	2001-2012	11	2
Cumulative Index to Nursing and Allied Health (CINAHL) (EBSCO)	(low level laser therapy AND orthodontic movement)	2000-2012	1	1
Cochrane Library	(low level laser therapy AND orthodontic movement)	2009	13	0

4.6.1.1. Criterios de inclusión y exclusión.

Como criterios de inclusión:

- *Cualquier longitud de onda, modo pulsado o continuo aplicada en humanos y ratas tipo Wistar.*
- *Aprobados por un comité de ética o animal.*
- *Los estudios en animales debían tener un grupo control.*
- *Los estudios en humanos debían tener el lado control como pseudoplacebo.*

Como criterios de exclusión:

Estudios con pacientes con trastornos neurológicos o psiquiátricos, alteraciones sistémicas, dolor crónico con tratamientos previos de ortodoncia.

- *Estudios en los que no se evalúa la relación con el movimiento dentario.*
- *Tracción de caninos o molares no realizada con resortes de cierre tipo coil-closed.*

4.6.2. Limitaciones de la revisión bibliográfica.

4.6.2.1. Criterios de inclusión.

Quizás los criterios de inclusión han sido el aspecto más cuestionable de la revisión realizada. En el momento en que se decidió realizar dicha revisión se encontró que existía una multitud de artículos y protocolos de actuar, así como pocas revisiones realizadas al respecto (Torri y Weber 2013 y Yassaei et al. 2013), de manera que se optó por intentar escoger los artículos que seguían un protocolo de actuación similar tanto en animales como en humanos para que el lector pudiese tener una primera impresión. La evidencia hace pensar que una revisión puede servir de guía para los clínicos en su práctica diaria y puede confundir las interpretaciones, sin embargo son necesarios más estudios para poder aplicar filtros más exigentes.

Debido a la poca cantidad de estudios realizados en humanos con un mismo protocolo de actuación, se incluyeron estudios en los que el hemimaxilar del paciente que no era irradiado actuaba como control o pseudoplacebo. Es bien conocido los efectos sistémicos que tiene el laser y por lo tanto puede ser difusa las conclusiones de dichos estudios (Coehlo et al. 2014, Rodrigo et al 2009). Aun conociendo dichos efectos, se decidió incluir estas investigaciones simplemente para que el lector ortodoncista supiese que se está realizando en la actualidad, tuviese conocimiento y autocrítica para su práctica diaria.

Del mismo modo se ha incluido artículos en los que no solo se valoraba la velocidad del movimiento dentario, sino que también se valoraba los efectos del láser en las estructuras del diente en movimiento sometido a la irradiación láser, como es el caso del estudio de Abi-Ramia et al. (Abi-Ramia et al. 2010).

4.6.2.2. Criterios de exclusión.

Solo se pudo incluir artículos publicados a fecha de diciembre de 2012 e indexados en las base de datos seleccionadas.

CAPÍTULO 5

Resultados

5.1. Descripción de la muestra	179
5.1.1. Concordancia de los datos entre examinadores	179
5.1.1.1. Ortodoncistas	180
5.1.1.2. Radiólogos	180
5.1.2. Homogeneidad de la muestra	181
5.1.3. Descripción general de la muestra	182
5.1.4. Expansión del tornillo y de los molares tras la retirada del aparato disyuntor	182
5.2. Resultados del ensayo clínico (deformación)	183
5.2.1. Resultados descriptivos del ensayo clínico	183
5.2.1.1. Tensión-patrón de crecimiento	184
5.2.1.2. Tensión- láser	186
5.2.2. Resultados inferenciales (contraste de hipótesis) del ensayo clínico	187
5.2.2.1. Tensión-patrón de crecimiento	187
5.2.2.2. Tensión-láser	191
5.3. Resultados del diseño experimental (test mecánico)	193
5.3.1. Resultados descriptivos del diseño experimental	193
5.3.1.1. Análisis de los elementos finitos (AEF) de la relación tensión-estrés	193
5.3.1.2. Validación del modelo AEF	195
5.3.1.3. Predicción de la evolución de la fuerza durante el ensayo clínico basado en los valores experimentales A y B	196
5.3.2. Resultados inferenciales (contraste de hipótesis) del diseño experimental	200
5.4. Resultados del ensayo clínico (láser)	201
5.4.1. Resultados descriptivos	201
5.4.1.1. Estudio cuantitativo	201
5.4.1.2. Estudio cualitativo	201
5.4.2. Resultados inferenciales (contraste de hipótesis)	203
5.4.2.1. Estudio cuantitativo	203
5.4.2.2. Estudio cualitativo	204
a. Estado de la sutura a los 75 días	206
5.5. Relación Tensión-Distancia Máxima Anterior	208
5.5.1. Resultados descriptivos	208
5.5.2. Resultados inferenciales (contraste de hipótesis)	209
5.6. Resultados de la revisión bibliográfica	210

Capítulo 5.

Resultados

Al haber dividido el ensayo en tres partes diferenciadas, se va a describir la muestra general y posteriormente se realizará la descripción y el análisis de cada una de las partes.

5.1. Descripción de la muestra.

Un total de 44 pacientes, 21 niños (47.7%) y 23 niñas (52.3%) con una edad media de 8,48 años (desviación típica 1,85 y rango 4,7 - 12,5), participaron en el estudio. 42 finalizaron con éxito su tratamiento de expansión con el disyuntor de McNamara, habiendo realizado un seguimiento postretención fija de como mínimo 6 meses. Una vez acabado ese periodo pasaron a ser revisados periódicamente por el Máster de Ortodoncia del Hospital Odontològic. Universitat de Barcelona. Sin embargo, 5 de ellos no completaron por completo todos los registros:

- 1 paciente dejó de acudir a sus citas durante la fase de retención.
- 1 paciente abandonó durante la fase de activación. Se le retiró el aparato y los padres no quisieron solventar la mordida cruzada con ningún tipo de tratamiento opcional que se les planteó.
- A 2 pacientes les dejó de funcionar la galga extensiométrica del brazo posterior. Uno durante la fase de activación y al otro durante la fase de retención.
- 1 paciente no acudió a realizar ningún CBCT.

Así pues, 40 pacientes fueron incluidos para realizar el análisis de la tensión y de estos, 39 el análisis radiográfico/irradiación láser. Figura 5.1

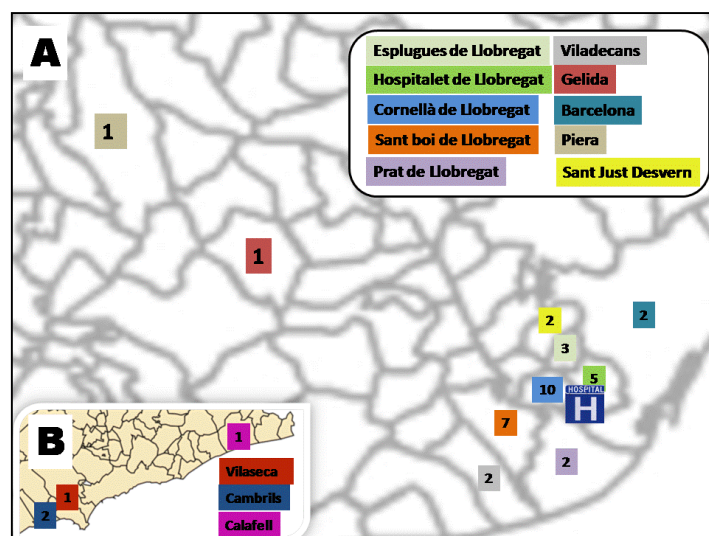


Figura 5.1. Cartograma de los municipios de Barcelona (A) y Tarragona (B) con el número de pacientes incluidos en el estudio.

Una vez conocido el número inicial de participantes y su procedencia, y antes de mostrar los resultados y sacar las conclusiones, se demuestra que hubo concordancia entre los datos de los examinadores a través del calibrado y que la muestra analizada era homogénea.

5.1.1. Concordancia de los datos entre examinadores.

5.1.1.1. Ortodoncistas.

Una vez recogidos los datos se procedió al análisis estadístico cualitativo (clasificar a los pacientes en los tres posibles grupos de patrón de crecimiento vertical) en donde el Índice Kappa comprobó que existía concordancia interexaminadores (1/0.98) y al análisis cuantitativo con la medición del ICC (coeficiente de correlación intraclase).Tabla 5.1.

Tabla 5.1. Coeficiente de Correlación Intraclase para concordancia entre ortodoncistas.

	Correlación intraclase ^b	Intervalo de confianza 95%		Prueba F con valor verdadero 0			
		Límite inferior	Límite superior	Valor	gl1	gl2	Sig.
Medidas individuales	,878 ^a	,782	,933	15,622	39	39	,000
Medidas promedio	,935 ^c	,878	,966	15,622	39	39	,000

Modelo de efectos mixtos de dos factores en el que los efectos de las personas son aleatorios y los efectos de las medidas son fijos.

a. El estimador es el mismo, ya esté presente o no el efecto de interacción.

b. Coeficientes de correlación intraclase de tipo A utilizando una definición de acuerdo absoluto.

c. Esta estimación se calcula asumiendo que no está presente el efecto de interacción, ya que de otra manera no es estimable.

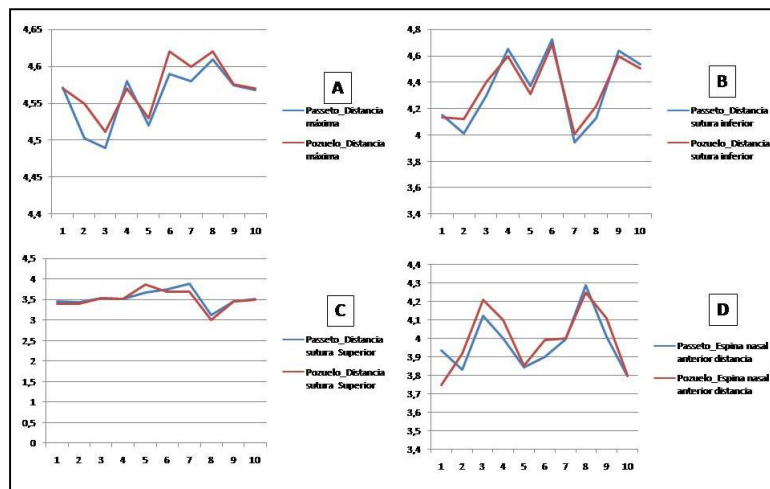
El ICC fue de 0.878 con un Intervalo de Confianza con límite inferior de 0.782 y límite superior de 0.933 (I.C.=0.782,0.933), y revelando una concordancia muy buena.

5.1.1.2. Radiólogos.

La concordancia a la hora de describir la S.I. y S.S. entre los 2 radiólogos fue total (Índice Kappa: 1/1) y para el conducto interincisivo y E.N.A. muy buena (Índice Kappa: 1/0.98).

Para el análisis de la concordancia para los valores cuantitativos (tabla 5.2) el ICC fu de 0,856, 0,967, 0,900 y 0,840 para la distancia máxima sutura, distancia sutura inferior, distancia sutura superior y distancia Espina nasal anterior respectivamente.

Tabla 5.2. Gráfica de las mediciones de las 10 CBCT para calibrado radiólogos. A Distancia máxima sutura, B Distancia sutura inferior, C Distancia Sutura superior y D Distancia Espina Nasal Anterior.



5.1.2. Homogeneidad de la muestra.

Para asegurar que los grupos eran iguales y que no existía una respuesta diferente en cuanto a tensión registrada o bien capacidad para reorganizar la sutura tras una ERM en función del sexo, se utilizó los 6 niveles de maduración cervical (variable discontinua) de Hassel & Farman. Tabla 4.3.

Tabla 5.3. Tabla de contingencia entre las variables género y estadio de maduración considerando las variables discontinuas.

		GÉNERO	
		Masculino	Femenino
Estadio de maduración	1	12 67%	17 77%
	2	4 22%	3 14%
	3	2 11%	2 9%

El resultado tras aplicar el test Chi-Cuadrado confirmó que no había relación estadísticamente significativa (p-valor de 0.145). No existía una relación entre sexo y nivel de maduración, dando a entender que la variable género no intervenía en la respuesta de tensión y por lo tanto la respuesta a una ERP era equivalente para todos los pacientes.

Por lo tanto, se puede decir que:

- **Se acepta la hipótesis nula que indica que la maduración esquelética según el género de los pacientes no influye en las diferencias encontradas entre los diferentes pacientes.**

5.1.3. Descripción general de la muestra.

En la tabla 5.1 se puede detallar una descripción completa de la muestra por género, edad y estadio de maduración (según vertebras) en función del patrón de crecimiento vertical.

Tabla 5.4. Descripción completa de la muestra. Género, edad, valores de Vert (CVV) e Índice de maduración esquelética según el patrón de crecimiento vertical.

	Género				Edad		Valores Vert		Maduración esquelética	
	Mujer		Hombre		Media	DS	Media	DS	Media	DS
	n	%	n	%						
Dolicocefálico	8	67	4	33	7.56	1.46	-0.54	0.23	1.38	0.48
Mesocefálico	4	40	6	60	8.78	2.20	0.04	0.17	1.45	0.69
Braquicefálico	10	56	8	46	8.94	1.75	1.27	0.53	1.39	0.78

De los 40 pacientes 20 pacientes fueron irradiados (8 niñas y 12 niños) y los otros 20 fueron pacientes placebo (14 niñas y 6 niños).

5.1.4. Expansión del tornillo y de los molares tras la retirada del aparato disyuntor.

Al finalizar la fase de expansión se comprobó que la media de expansión del tornillo había sido de 7,24 mm con una desviación estándar de 1,08 mm.

En la tabla 5.5 se resume los valores que se midieron sobre los modelos de yeso antes de pre-tratamiento y tras la retirada del aparato disyuntor.

Tabla 5.5. Medición de las distancias a, b, 6--6, y 6—6 en los modelos de estudio y en los modelos tras retirar el aparato de ERP. Distancia en milímetros.

	Distancia a		Distancia b		Distancia 6 -- 6		Distancia 6 — 6	
	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS
Pretratamiento	32,84	1,53	32,68	1,79	46,51	3,24	32,55	2,66
Post-retención fija	34,03	1,80	35,04	3,93	51,17	4,05	37,54	3,66
Diferencia	1,19		2,36		5,66		5,03	

5.2. Resultados del ensayo clínico.

5.2.1. Resultados descriptivos

A los 40 pacientes se les registró la tensión que se acumulaba en los brazos A y B del disyuntor desde la primera activación del tornillo (T1) hasta los 75 de retirada del aparato (T7) y se detalla en la tabla 5.6. Los valores de tensión de cada uno de los pacientes tanto para el brazo A como para el B se adjuntan en el anexo 5.6.

Tabla 5.6. Análisis descriptivo de cada uno de los momentos en que se registró la tensión. Valores en microstains.

Brazo A	T1_A	T1.5_A	T2_A	T3_A	T4_A	T5_A	T6_A	T7_A
Media	349,20	896,65	1226,20	1900,60	2787,67	3433,05	3895,17	4068,70
Mediana	196,50	665,75	862,50	1279,50	1824,00	2229,50	2466,50	2471,00
Moda	11,00 ^a	345,00	787,00	16,00 ^a	1041,00	277,00 ^a	468,00 ^a	42,00 ^a
Desv. típ.	415,509	712,1	1075,06	1635,26	2858,15	3476,21	3758,78	4720,81
Rango	1839,00	1328,93	4723,00	8400,00	12245,00	16420,00	17555,00	20428,00
Mínimo	11,00	345,00	46,00	16,00	166,00	277,00	468,00	42,00
Máximo	1850,00	1586,32	4769,00	8416,00	12411,00	16697,00	18023,00	20470,00

Brazo B	T1_B	T1.5_B	T2_B	T3_B	T4_B	T5_B	T6_B	T7_B
Media	312,42	1194,6	1755,40	2276,40	2995,12	3508,90	3271,17	3037,50
Mediana	161,00	1004,1	1691,50	1964,50	2296,00	2718,50	2664,00	2231,00
Moda	134,0 ^a	103,0	5,00 ^a	28,00 ^a	14,00 ^a	1711,00	33,00 ^a	31,00 ^a
Desv. típ.	415,00	750,8	1495,48	1855,19	2671,87	3577,73	3138,14	3374,75
Rango	2221,0	1785,9	5132,00	6519,00	11212,00	16443,00	14575,00	16474,00
Mínimo	3,0	103,0	5,00	28,00	14,00	63,00	33,00	31,00
Máximo	2224,0	1935,6	5137,00	6547,00	11226,00	16506,00	14608,00	16505,00

Tal y como se observa en la tabla 5.6, la media de tensión alcanzó su punto más alto a los 75 días en el caso A, mientras que en para el caso B se da en el período 5. La media de fuerza residual restante en la última activación en la fase de expansión en el brazo anterior fue de 1226.15 μ S (rango 11 μ S - 4739 μ S) y en el brazo posterior de 1755.37 μ S (rango 3 μ S - 5137 μ S). Durante la fase de retención en el brazo anterior fue de 4069.45 μ S (rango 16 μ S - 20470 μ S) y en el posterior de 3037.47 μ S (rango 28 μ S - 16505 μ S). La media

del valor máximo de tensión residual analizado en el brazo anterior fue de 5272.85 μ S (rango 987 μ S - 20470 μ S) y en el posterior de 4290.5 μ S (rango 454 μ S - 16505 μ S).

En un primer apartado se va a describir el comportamiento de la tensión acumulada (su evolución de ascensos y recidiva) según el patrón de crecimiento vertical, y en un segundo apartado se describe la relación entre el láser y la tensión.

5.2.1.1. Tensión-patrón de crecimiento.

La tabla 5.7 muestra la diferencia entre la tensión que se había acumulado al finalizar la fase activa y la tensión acumulada al finalizar la fase de retención para cada uno de los patrones de crecimiento.

Tabla 5.7. Estadística descriptiva entre los diferentes patrones de crecimiento vertical en el brazo A – B al final de la fase de expansión y de retención y la media de disipación de tensión (↓ Tensión). La tensión está expresada en μ S. % N Porcentaje de individuos en la muestra.

		Brazo A		Brazo B	
		Media	DS	Media	DS
Braquicefálico	Fin Fase activa	900.70	727,83	1641.51	1477.24
	de Expansión				
	Fin Fase de Retención	3551.11	4950,41	1960.83	1845.03
	↓ Tensión	1392.79	936,10	1780.70	2475.3
Mesocefálico	Fin Fase activa	1691.10	1396,99	1489.90	1154.83
	de Expansión				
	Fin Fase de Retención	5949.80	6164,45	2535.00	1513.15
	↓ Tensión	1183.40	580.32	916.50	350.56
Dolicocefálico	Fin Fase activa	1327.03	140,76	2147.50	1792.35
	de Expansión				
	Fin Fase de Retención	3277.52	2389.80	5071.24	5158.03
	↓ Tensión	981.30	112.42	853.95	177.40

En cuanto a la disminución de la tensión acumulada (recidiva), se observó que esta empezó a recidivar en el 52,5% de los pacientes en los brazos A, mientras que el porcentaje de los brazos B en los que disminuyó la

tensión fue mayor, siendo de un 70%. La media total de los brazos (80 en total) en los que hubo recidiva fue del 61.25%. Los detalles sobre el momento de la recidiva de tensión según el patrón de crecimiento vertical se encuentran en la tabla 5.8. En dicha tabla se puede apreciar que no está la columna T1,5, ya que no se produjo ninguna recidiva en esos registros de tensión.

Tabla 5.8. Estadística descriptiva del inicio de la disipación de la tensión residual entre los diferentes patrones de crecimiento en los brazos A y B durante la fase activa y pasiva. En las columnas de cada intervalo de tiempo se aprecia el número de individuos (N), el porcentaje total sobre el total de la muestra (%N) y el porcentaje acumulado (%N Tipo).

		T2			T3			T4			T5			T6			T7		
		N	% total	% Tipo	N	% total	% Tipo	N	% total	% Tipo	N	% total	% Tipo	N	% total	% Tipo	N	% total	% Tipo
Braqui- cefálico	Brazo A	1	1,25	2,8				5	6,25	13,9	2	2,5	5,6	4	5	11,1	6	7,5	16,7
	Brazo B	3	3,75	8,3	1	1,25	2,8	3	3,75	8,3	3	3,75	8,3	3	3,75	8,3	5	6,25	13,9
Meso- cefálico	Brazo A				1	1,25	5,0				2	2,5	10				7	8,75	35
	Brazo B									3	3,75	15	3	3,75	15	4	5	20	
Dolico- cefálico	Brazo A	1	1,25	4,2				3	3,75	12,5	2	2,5	8,3				6	7,5	25
	Brazo B							3	3,75	12,5	2	2,5	8,3	4	5	16,7	3	3,75	12,5
		5	6,25		2	2,5		14	17,5		14	17,5		14	17,5		31	38,75	

En el anexo 5.6 se detalla para cada uno de los pacientes si se produjo recidiva o no y el momento en el que se empezó a registrar.

Para poder visualizar el comportamiento de la tensión se realizó dos gráficos, para el brazo A y para el brazo B, en los que se puede analizar como respondía la tensión acumulada en cada uno de los 3 grupos de pacientes. Las líneas discontinuas representan los registros tomados durante la fase de activación, mientras que las continuas pertenecen a la fase de retención. (Figura 5.9 y 5.10)

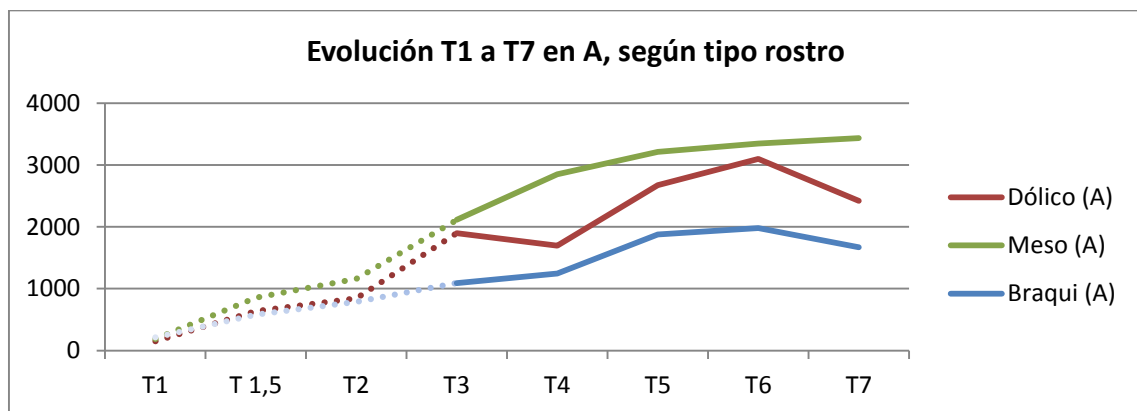


Figura 5.9. Gráfico con el comportamiento de la tensión para el brazo A.

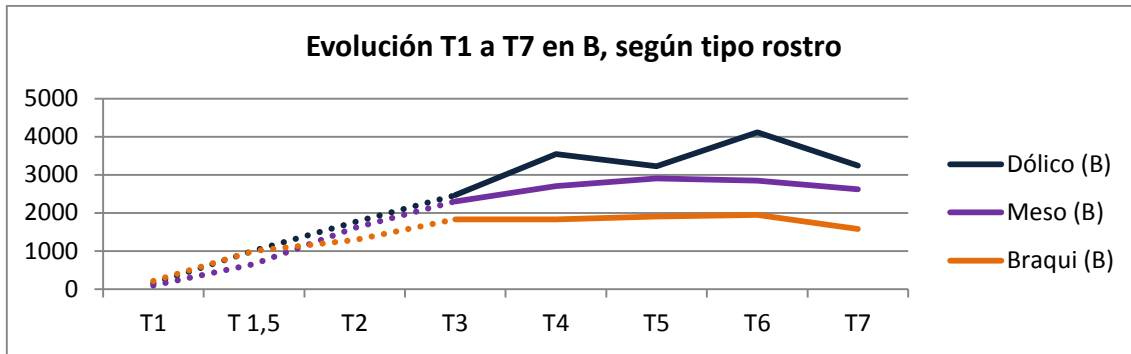


Figura 5.10. Gráfico con el comportamiento de la tensión para el brazo B.

5.2.1.2. Tensión-láser.

En la tabla de contingencia 5.9 se detalla los valores de tensión registrados en los momentos T1-T7 para cada uno de los brazos en función de si se irradió o no. Se puede apreciar que la media para el brazo A del momento T6 de los pacientes irradiados fue el pico máximo de tensión registrada, lo cual indica que hubo un inicio de recidiva, mientras que en el grupo placebo no se produjo disminución de la media de tensión acumulada. Para el brazo B en los dos grupos se produce recidiva, siendo en T5 para el grupo irradiado y en T6 para el grupo placebo.

Tabla 5.9. Descripción de la tensión acumulada para los pacientes placebo y los irradiados.

		Brazo A							
		T1	T1,5	T2	T3	T4	T5	T6	T7
Placebo	Media	433,0	358,19	1376,00	1683,90	2313,90	2890,05	3439,55	4216,75
	Desv. Tip.	530,49	854,29	1274,55	1390,40	2675,28	3204,19	4000,94	6025,85
	Rango	1823,	3175,5	4653,00	5280,00	12235,0	14756,00	17555,00	20428,00
Irradiados	Media	265,35	324,04	1075,80	2117,30	3261,45	3976,05	4350,80	3920,65
	Desv. Tip.	241,17	552,33	836,82	1859,25	3022,97	3730,50	3543,42	3063,99
	Rango	907,00	2002,4	2892,00	8400,00	9510,00	16140,00	12495,00	9877,00
		Brazo B							
Placebo	Media	46,34	65,13	1939,70	2309,80	2805,45	2937,80	3029,60	2995,45
	Desv. Tip.	312,36	1485,2	1521,89290	1961,59	2217,15	2721,37	2988,45	3550,57
	Rango	1411,00	5998,3	5132,00	6519,00	8079,00	11687,00	13363,00	16474,00
Irradiados	Media	56,11	243,14	1571,10	2243,00	3184,80	4080,00	3512,75	3079,55
	Desv. Tip.	503,23	819,16	1484,24	1792,89	3108,38	4263,99	3340,73	3281,31
	Rango	2219,00	2963,5	5022,00	5694,00	11064,00	16332,00	14448,00	14461,00

En el 60% de los brazos A se produjo recidiva en los pacientes irradiados frente al 45% de los sujetos placebo. Mientras que para el brazo B el porcentaje fue del 70% para ambos grupos de pacientes.

5.2.2. Resultados inferenciales (contraste de hipótesis) del ensayo clínico.

5.2.2.1. Tensión-patrón de crecimiento.

Se trató de relacionar la evolución de la tensión acumulada en los brazos A y B desde su primera activación (T1) hasta el día de final de retención (T7). En la tabla 5.10, se establece la relación existente por cada patrón de crecimiento vertical.

En dicha tabla, se puede observar una relación estadísticamente significativa en la media de los brazos posteriores en la primera activación (T1) con una $p = 0.035$ y para el día 60 de retención (T6) con una $p = 0.041$.

Tal y como se comentó anteriormente, para comprobar que la disyunción influía sobre la tensión inicial y el final de retención a la que está expuesta el aparato disyuntor se realizó la prueba de Wilcoxon siendo un valor $= 0$ tanto para ambos brazos (A-B). Esto indica que hay diferencias estadísticamente significativas entre la tensión en el momento T2 y en el momento T7, es decir, que llevar el aparato influía en la misma. Gráficamente se aprecia que la tensión aumenta con el tiempo. (Figura 5.4)

Tabla 5.10. Detalle de los valores registrados en cada brazo para cada uno de los patrones de crecimiento y su valor-p.

		Arm A			Arm B		
		Braqui	Meso	Dolico	Braqui	Meso	Dolico
T1	Mediana	212.5	184.5	150,5	210.5	93.5	152.5
	Rango intercuantílico	(91.75-472.75)	(101-873-5)	(98.5-445.25)	(148.75-439)	(93.5-203.75)	(104-459.75)
	Valor - p	0.9			0.035*		
T1,5	Mediana	580.3	856.6	639.5	1004	653.2	1009
	Rango	(564.15 –		(257.3-	(501.3-	(149.7-	

Resultados

T2	intercuantílico	(289.9-1163.6)	1617.8	586.32)	1935.6)	1680.6)	478.72-1545.3)
	Valor - p		0.381			0.769	
	Mediana	789.5	1162	846.5	1284	1606	1760
	Rango intercuantílico	(366-1116)	(719-2646.25)	(314-2525.75)	(551-2277.5)	(278.7-2639.2)	(597-3931.7)
T3	Valor - p		0.27			0.846	
	Mediana	1091	2112	1898	1833	2305	2467
	Rango intercuantílico	(710.2-1786.7)	(1091-3589.25)	(762-3107.7)	(503.25-3433)	(429-2785)	(905.5-5481.2)
	Valor - p		0.103			0.408	
T4	Mediana	1244	2848	1697	1832	2708	3548
	Rango intercuantílico	(883.5-2162.2)	(325.7-5629.7)	(876.2-3952.5)	(581.5-3346.7)	(1006.2-3029)	(1386.7-7214)
	Valor - p		0.107			0.155	
	Mediana	1877	3210	2672	1909	2909	3222
T5	Rango intercuantílico	(1012-3990.5)	(2139.7-7683.7)	(1395-4605.2)	(290.2-3381,2)	(1721-3826)	(1933.5-7521)
	Valor - p		0.156			0.149	
	Mediana	1979	3347	3098	1944	2848	4120
	Rango intercuantílico	(233.7-4716.2)	(579-8747.75)	(1371.-4659.4)	(367-3680.75)	(1430.7-3728)	(2172-6692)
T6	Valor - p					0.041*	

T7	Mediana	1688	3435	2422	1579	2621	3242
	Rango intercuantílico	(754.25-3922)	(1170-9558.5)	(1170.7-9558)	(368-3498.25)	(1193-3278.7)	(1853.5-5954)
	Valor - p		0.27			0.094	

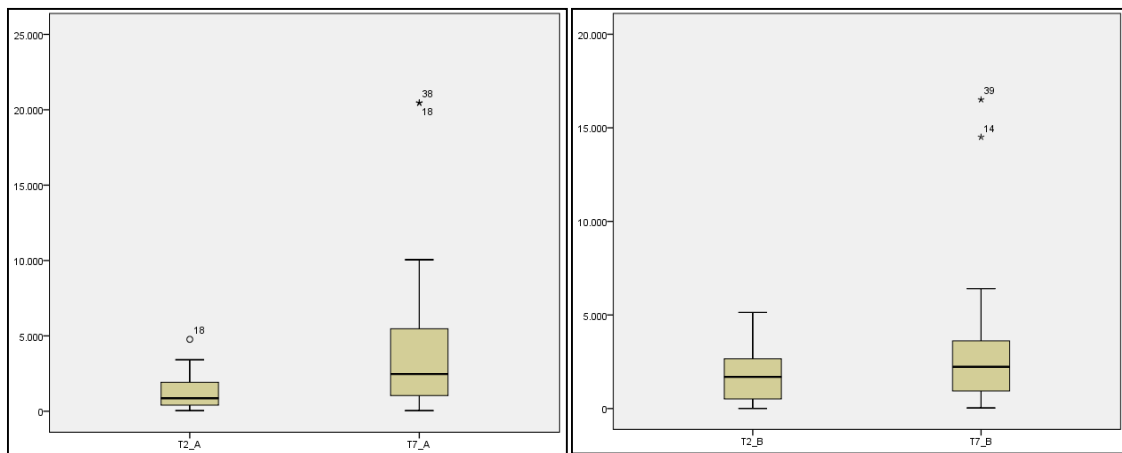


Figura 5.4. Diagrama de cajas. A para el brazo A y gráfica B para el brazo B.

Al realizar la misma relación para cada uno de los grupos se observó que en el brazo A se rechazaba la hipótesis nula ($p = 0.023$ en dolicocefálicos, $p = 0.017$ en mesocefálicos y $p = 0.004$ en braquicefálicos). Para el brazo B también se rechazó la hipótesis nula ($p = 0.006$ en dolicocefálicos y $p = 0.013$ en mesocefálicos). Sin embargo para los brazos B en los pacientes braquicefalicos no difería con una $p = 0.184$, es decir no se cumplía la prueba de Wilcoxon y según esta no existía diferencias en la tensión entre el momento 2 y 7.

Ahora bien, para interrelacionar la variable tipo de rostro con la diferencia de tensión entre el momento T2 y T7 se utilizó el test Kurskral-Wallis y se encontró en el brazo A un p-valor de 0.511 y en el brazo B un p-valor de 0.05. Por lo tanto, se demostró que existían diferencias estadísticamente significativas entre la tensión en el momento T7 y en el momento T2 y el tipo de rostro, por lo tanto la tensión en el brazo B difería en función del tipo de rostro que tuviese el paciente. (Figura 5.5).

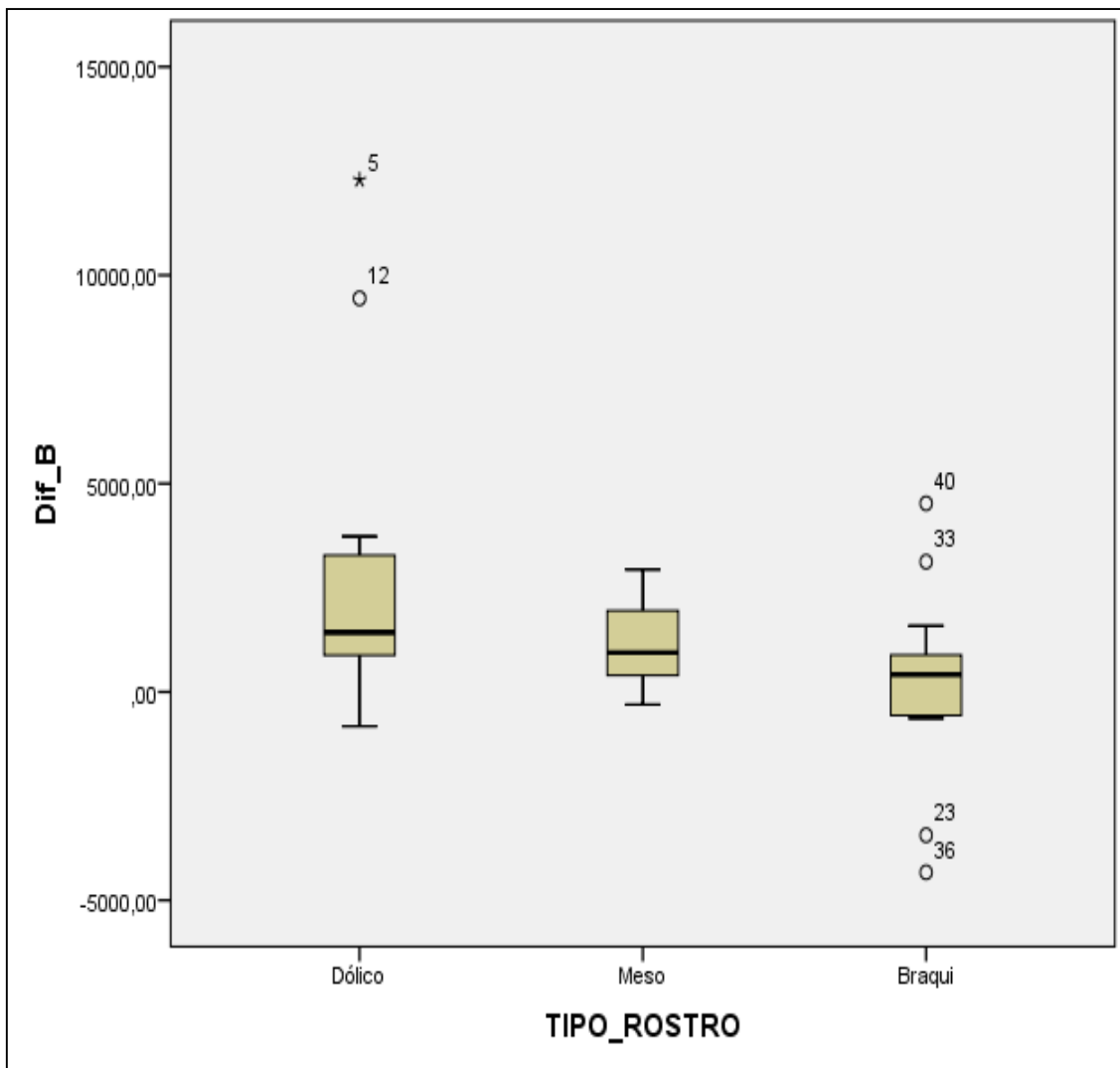


Figura 5.5. Diagrama de cajas que ilustra la distribución de la tensión para cada uno de los patrones de crecimiento vertical.

En cuanto a relación entre si existió recidiva o no y el tipo de patrón de crecimiento y la relación entre momento de recidiva y tipo de patrón de crecimiento las significancias, no se encontró diferencias estadísticamente significativas tras realizar la prueba Chi-Cuadrado, sin embargo de las tablas de contingencia se analiza el patrón de crecimiento con el periodo de recidiva desde T2 a T4 (primeros 45 días) y desde T5 a T6 (del día 46 al 75).

Para la relación entre los primeros 45 días y tipo de patrón de crecimiento en el brazo A se estableció una $p = 0.62$ y para el brazo B una $p = 0.074$. Sin embargo es relevante que en el brazo A a los 45 días de retención fija, el 52,4% había iniciado la recidiva frente al 35,7% en el caso del brazo B. Es decir, que el 64,3% de los brazos B de los disyuntores que habían iniciado recidiva lo hicieron a partir del día 46. (Tabla 5.11)

Tabla 5.11. Relación entre la recidiva tardía o temprana para el Brazo A y B en función del patrón de crecimiento.

		Brazo A				Brazo B			
		TIPO_ROSTRO			Total	TIPO_ROSTRO			Total
		1 Dólico	2 Meso	3 Braqui		1 Dólico	2 Meso	3 Braqui	
0 Recidiva pronto	Recuento	4	1	6	11	3	0	7	10
	% dentro de A_tiempo	36,4	9,1	54,5	100,0	30,0	0,0	70,0	100,0
	% dentro de TIPO_ROSTRO	66,7	33,3	50,0	52,4	33,3	0,0	53,8	35,7
1 Recidiva Tarde	% del total	19,0	4,8	28,6	52,4	10,7	0,0	25,0	35,7
	Recuento	2	2	6	10	6	6	6	18
	% dentro de A_tiempo	20,0	20,0	60,0	100,0	33,3	33,3	33,3	100,0
Total	% dentro de TIPO_ROSTRO	33,3	66,7	50,0	47,6	66,7	100,0	46,2	64,3
	% del total	9,5	9,5%	28,6	47,6	21,4	21,4	21,4	64,3
	Recuento	6	3	12	21	9	6	13	28
Total	% dentro de A_tiempo	28,6	14,3	57,1	100,0	32,1	21,4	46,4	100,0
	% dentro de TIPO_ROSTRO	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
	% del total	28,6	14,3	57,1	100,0	32,1	21,4	46,4	100,0

Por lo tanto, se puede decir que:

- El realizar un tratamiento de expansión rápida del maxilar influye en la diferencia de tensión acumulada. Los datos son estadísticamente significativos y por lo tanto se acepta la hipótesis de trabajo.
- Aunque existe diferencias significativas entre los momentos de recidiva según el patrón de crecimiento, estos no son estadísticamente significativos, y por lo tanto se acepta la hipótesis nula.
- La tensión acumulada en la zona posterior del aparato muestra que las diferencias son estadísticamente significativas dependiendo del biotipo facial, con lo cual, no son fruto del azar y por lo tanto se acepta la hipótesis de trabajo.

b. Tensión – láser.

Se relacionó la máxima tensión acumulada entre T2 y T7 y el momento T7, es decir la disipación de tensión para la variable irradiación/placebo. Solo se estudiaron los pacientes en los que hubo recidiva de tensión. Tras realizar la prueba de U de Mann-Whitney de muestras independientes indica que existen diferencias estadísticamente significativas entre los brazos A del grupo irradiado y del placebo (p-valor=0,023), es decir el grupo irradiado acumuló

mayor cantidad de tensión disipada que el grupo placebo (Figura 5.6). Sin embargo en el brazo B no se produjo diferencias (p-valor = 0.104).

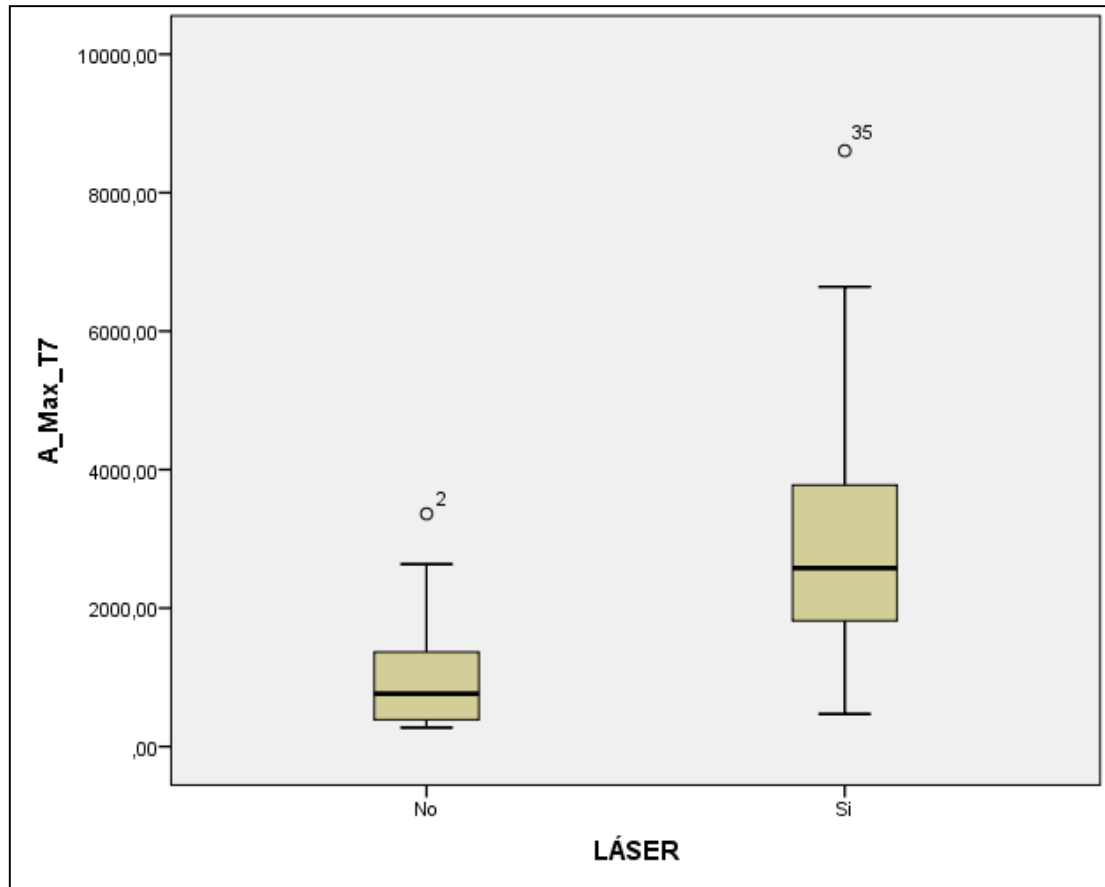


Figura 5.6. Diagrama de cajas que ilustra de cómo se acumula la disipación de tensión en el brazo A en los pacientes irradiados y los pacientes placebo.

Así pues, se puede decir que;

- **Los pacientes a los cuáles se les irradia con un láser de baja intensidad la zona anterior de la sutura maxilar presentan un inicio de disipación de tensión acumulada anterior a los pacientes placebo y por lo tanto se acepta la hipótesis de trabajo.**

5.3. Resultados del diseño experimental.

5.3.1. Resultados descriptivos del diseño experimental.

Para poder obtener la predicción de los datos-Fuerza que habían recibido cada uno de los pacientes en la zona anterior (F1) y zona posterior (F2) de sus disyuntores, se tuvo que realizar una validación.

5.3.1.1. Análisis de los elementos finitos (AEF) de la relación deformación-estrés.

Una vez realizado el mesh (malla) que se va a utilizar para el AEF se aplicó una fuerza (de 2.5 N a 55 N) en medio de las coronas de los molares temporales (F 1) y otra fuerza (de 2.5 N a 55 N) en medio de la corona del molar permanente (F2). (Figura 5.7)

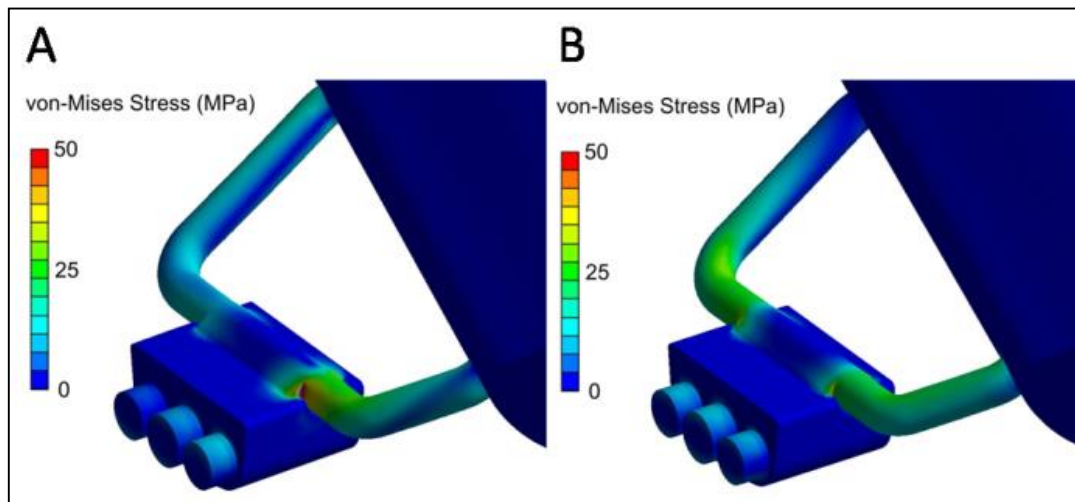


Figure 5.7. Von Mises stress en los brazos de acero inoxidable del aparato tras aplicar una carga de 2.5 N en (A) molares temporales y en (B) molares permanentes.

Se puede decir, apreciando el esquema de la figura 5.7 que dadas las fuerzas F1 y F2, los efectos de la fuerza sobre el estrés son notablemente diferentes dependiendo de la localización de los brazos. Una fuerza ejercida por los molares temporales estresa más el brazo anterior que el posterior, por el contrario, una fuerza ejercida por los molares permanentes producen una carga similar en ambos brazos. En otras palabras, bajo la consideración de la geometría aparato-placa, la tensión de la galga anterior está determinada de manera similar por ambas fuerzas, mientras que la tensión del brazo posterior depende principalmente de la fuerza ejercida en el molar permanente.

En un primer paso se obtuvo las gráficas de deformación predicha con el MEF en la galga A y en la galga B al aplicar una fuerza en la zona anterior de manera independiente. (Figura 5.8)

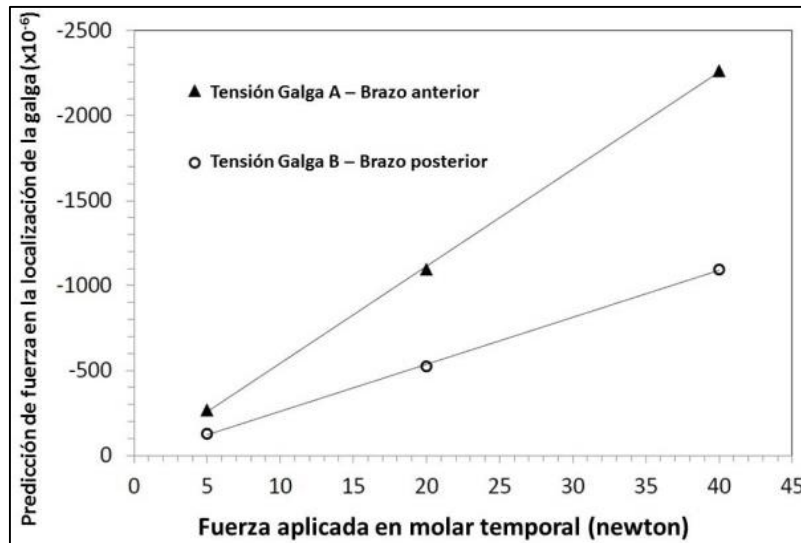


Figura 5.8. Predicción MEF de tensión/deformación acumulada al aplicar distintas fuerzas en la zona anterior de la placa de resina del disyuntor.

De la gráfica de la figura 5.8 se puede apreciar que una fuerza aplicada de manera independiente en la zona anterior generaba más tensión en la galga anterior que en la posterior.

Sin embargo en el siguiente gráfico de la figura 5.9 se expresa los resultados de haber aplicado una fuerza independiente en la zona posterior.

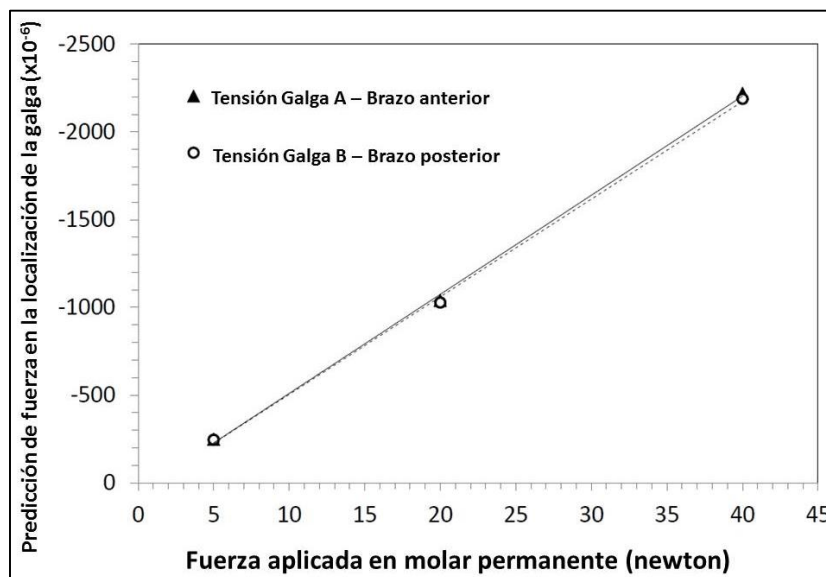


Figura 5.9. Predicción MEF de tensión/deformación acumulada al aplicar distintas fuerzas en la zona posterior de la placa de resina del disyuntor.

Se puede observar que cuando se aplicó una fuerza independiente en la zona posterior la afectación de las galgas eran por igual.

Por lo tanto se puede decir que considerando las condiciones de simetría comentadas en el apartado materiales y métodos sobre el disyuntor, la tensión de la galga anterior estaba determinada de manera similar por ambas fuerzas (zona anterior – F1 / zona posterior – F2), mientras que la galga del brazo posterior dependía principalmente de la fuerza que se aplicaba en el molar permanente (zona posterior – F2).

5.3.1.2. Validación del modelo AEF.

El segundo paso de la validación consistió en registrar datos obtenidos de someter un disyuntor en la plataforma motorizada xy 531.PD con las mismas fuerzas que se programaron en el MEF tanto para la zona anterior (Figura 5.10) como para la zona posterior (Figura 5.11) de manera independiente.

Tal y como se observa en la gráficas, el grado de concordancia demostró que la validación había sido correcta.

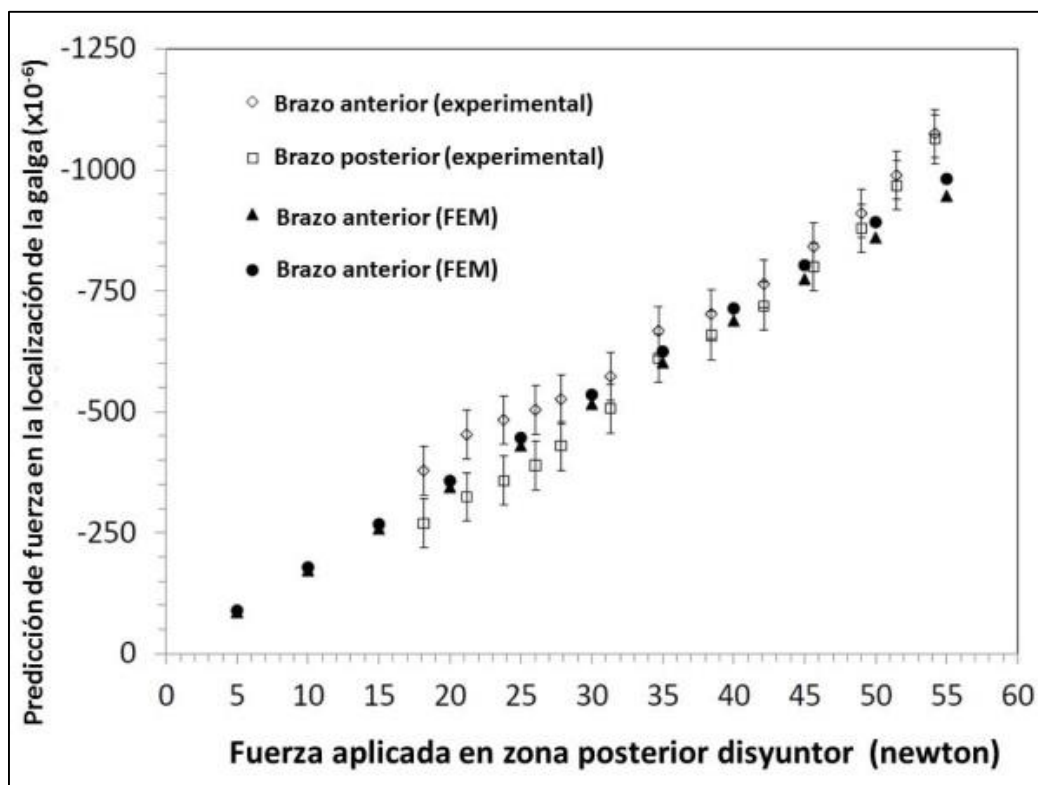


Figura 5.10. Superposición de la tensión/deformación acumulada registrada por el MEF y por los datos del diseño experimental (plataforma) al aplicar distintas fuerzas en la zona anterior de la placa de resina del disyuntor.

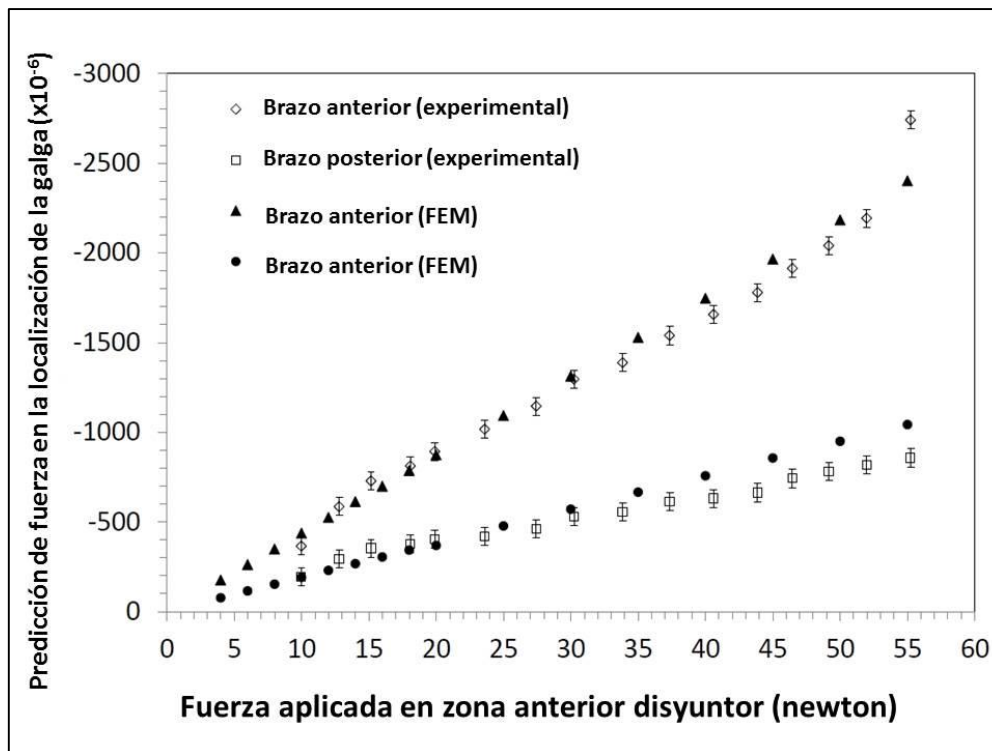


Figura 5.11. Superposición de la tensión/deformación acumulada registrada por el MEF y por los datos del diseño experimental (plataforma) al aplicar distintas fuerzas en la zona posterior de la placa de resina del disyuntor.

Se comprueba que el comportamiento experimental del disyuntor es lineal para cargas iguales o inferiores a 60 Newtons tanto en el MEF como en el ensayo clínico. Es decir, para los valores usuales de fuerzas que se observan durante el tratamiento un modelo elástico lineal funciona satisfactoriamente (como se deriva de las gráficas de validación con los puntos de predicción del modelo y los puntos experimentales). En caso extraordinario de cargas muy elevadas puede ocurrir una deformación plástica del brazo (deformación permanente del brazo), pero estos son casos extremos, en los probablemente la férula acrílica, las galgas o los conectores se deteriorarían.

5.3.1.3. Predicción de la evolución de la fuerza durante el ensayo clínico basado en los valores experimentales A y B.

Tras haber validado el sistema de acuerdo a la siguiente matriz ecuacional (Ecuación 1);

$$\begin{bmatrix} A \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -57.13 & -56.49 \\ -27.70 & -55.66 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} F1 \\ F2 \end{bmatrix} \quad (\text{Ecuación 1})$$

se pudo obtener las correlaciones predictivas entre las fuerzas generadas y las deformaciones registradas. De modo y manera, que se invirtió el cálculo de la matriz (Ecuación 2) y se pudo predecir las fuerzas generadas en los molares

temporales (zona anterior) y el molar permanente (zona posterior) a partir de los valores de las galgas A y B de los registros clínicos/experimentales.

$$\begin{bmatrix} F1 \\ F2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.03446 & 0.03498 \\ 0.01715 & -0.03537 \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} A \\ B \end{bmatrix} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Por lo tanto, en la tabla 5.12 se aprecia la media de las fuerzas predictivas a las que estuvieron sujetos los disyuntores de los 40 pacientes una vez aplicada la matriz ecuacional invertida. Las fuerzas en cada uno de los momentos de los 40 pacientes se detallan en el anexo 5.7.

Tabla 5.12. Descripción de la fuerza registrada en los momentos T1-T7 en la zona anterior de molares temporales y zona posterior de molar permanente.

Brazo A	T1_A	T1,5_A	T2_A	T3_A	T4_A	T5_A	T6_A	T7_A
Media	1,10	-14,65	-19,13	-14,11	-8,68	-4,41	19,82	33,97
Mediana	1,74	-4,32	-7,13	-18,71	-4,57	10,57	17,72	16,16
Moda	-77,10	-100,79	-152,39	-158,91	-327,97	-328,58	-307,39	-404,11
Desv. típ.	20,39	31,76	49,20	64,14	113,12	128,82	152,54	187,55
Rango	139,66	158,37	229,19	288,26	654,30	720,15	817,57	1031,18
Mínimo	-77,10	-90,03	-152,39	-158,91	-327,97	-328,58	-307,39	-404,11
Máximo	62,56	68,34	76,79	129,35	326,32	391,56	510,17	627,06

Brazo B	T1_B	T1,5_B	T2_B	T3_B	T4_B	T5_B	T6_B	T7_B
Media	5,06	20,11	41,06	47,92	58,13	65,24	48,90	37,66
Mediana	1,50	20,22	33,32	40,60	49,24	42,03	43,22	20,80
Moda	-30,52	-31,29	-32,62	-54,90	-158,73	-129,88	-214,18	-271,80
Desv. típ.	16,32	25,34	47,84	58,70	92,18	113,21	116,96	134,89
Rango	108,85	133,96	199,38	249,81	523,64	547,57	611,04	769,45
Mínimo	-30,52	-31,29	-32,62	-54,90	-158,53	-129,88	-214,18	-271,80
Máximo	78,33	102,67	166,75	194,90	364,91	417,68	396,85	497,64

En la mediana, el valor máximo de la fuerza era en el momento T6, mientras que el mínimo era en el momento T3, para A. Mientras que para el brazo B, la mediana del valor máximo de Fuerza que estaba soportando el

disyuntor, se produjo en el registro del momento T4 y el mínimo durante el registro del momento T7 (sin tener en cuenta el momento inicial).

El porcentaje de casos en los que la fuerza disminuye tanto en F1 como en F2 se observan en la tabla 5.13.

Tabla 5.12. Porcentaje del momento en el que empezó a recidivar la fuerza predicha sobre los molares temporales (zona anterior – F1) y los molares permanentes (zona posterior – F2).

		Zona Anterior				Zona posterior (F2)			
		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	2	8	20,0	32,0	32,0	6	15,0	18,8	18,8
	3	2	5,0	8,0	40,0	5	12,5	15,6	34,4
	4	4	10,0	16,0	56,0	7	17,5	21,9	56,3
	5	5	12,5	20,0	76,0	8	20,0	25,0	81,3
	6	6	15,0	24,0	100,0	6	15,0	18,8	100,0
	Total	25	62,5	100,0		32	80,0	100,0	
Perdidos	Sistema	15	37,5			8	20,0		
Total		40	100,0			40	100,0		

Para el caso F1, en el 62,5% de los pacientes disminuyó la fuerza antes del momento T7. Para el caso F2, en el 80% de los pacientes disminuyó la fuerza antes del momento T7. En el anexo 4.7 se puede encontrar tanto las fuerzas predichas como el hecho de no recidivar o si y su momento para cada uno de los pacientes.

En la tabla 5.14 se encuentra las medias de fuerza al final de la fase de expansión y de retención y la recidiva de fuerza según el patrón de crecimiento vertical.

Tabla 5.14. Descripción de las fuerzas estimadas en el primer molar permanente y en los molares temporales durante la fase activa y de retención y la media de reducción de fuerza (fuerza expresada en newtones).

		Braquicefálico			Mesocefálico			Dolicocefálico		
		Fase de expansión	Fase de retención	↓Tensión	Fase de expansión	Fase de retención	↓Tensión	Fase de expansión	Fase de retención	↓Tensión
Fuerza 1	Media	-24.99	512.73	41.40	6.13	116.37	49.65	-29.39	-64.61	107.18
	DS	44.64	165.63	40.95	53,13	210,79	178,84	48,32	190,96	117,55
Fuerza 2	Media	40.91	8.53	89.32	23.64	-12.36	71.65	35.46	92.17	39.14
	DS	48.11	90.34	117.58	31,38	110,83	79,04	52,70	165,82	150,14

Debido a la influencia de las fuerzas disímiles en los brazos de los disyuntores en los molares anterior y posterior, las fuerzas previstas no siguieron los patrones analizados anteriormente para las tensiones y se requiere un análisis más detallado de estos. Centrándose en las fuerzas producidas al final de la fase de retención, la fuerza F1 en el molar anterior se detectó que era mayor que la fuerza F2 en el molar posterior en ambos patrones de crecimiento mesocefálicos y braquicéfalos. Mientras que estos hallazgos se invierten en el patrón dolicocefálico.

En el gráfico de porcentajes apilados de la figura 5.12 se describe el número de casos en los que predomina la F1, la F2 o bien no existe predominancia, tras la fijación del tornillo al finalizar la fase de expansión, al final de la retención y los picos de máxima fuerza registrados durante toda la fase de retención.

Obsérvese en el momento T2 el predominio de F2 ($F1 < F2$) para todos los biotipos. Al final de la fase de retención fija F1 aumenta (sobre todo en los mesocefálicos y dolicocefálicos ($F1 > F2$) a excepción de los dolicocefálicos en que aumenta todavía más la predominancia de la F2. En los picos de Fuerza máxima predicha sigue el mismo patrón que se ha ido observando durante todo el tratamiento (T1-T7), es decir, en los casos dolicocefálicos el pico de crecimiento ha sido registrado para F1 (70%), y siendo los picos de F2 mayores en mesocefálicos (55,56%) y aún mayor en los braquicefálicos (58,82%).

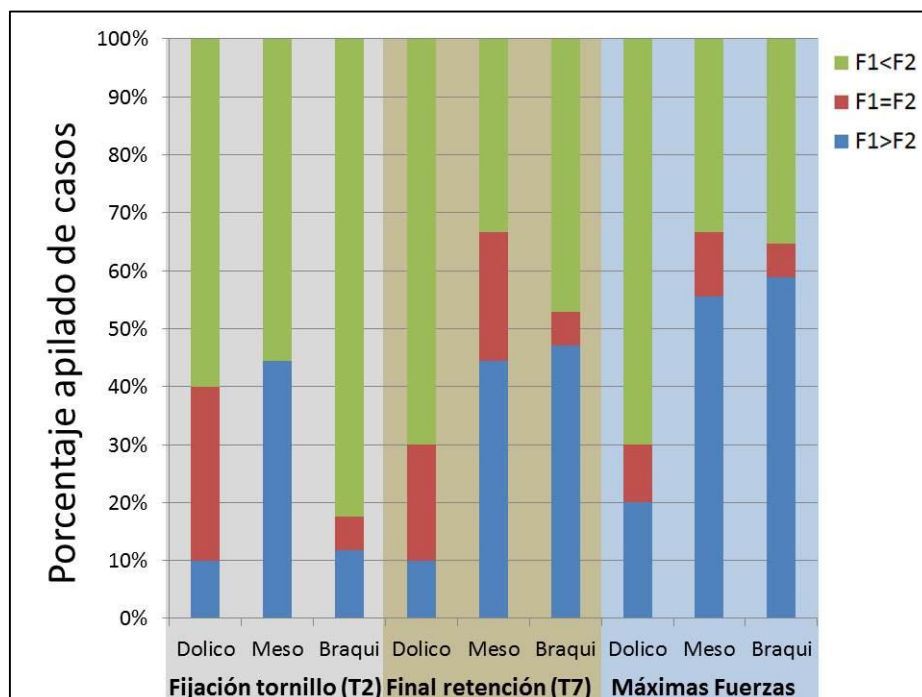


Figura 5.12. Porcentaje apilado de los casos en que $F1 < F2$, $F1 = F2$ y $F1 > F2$ para cada uno de los patrones de crecimiento vertical y en diferentes fases (T2 y T7) y en los picos de máxima Fuerza predicha.

5.3.2. Resultados inferenciales (contraste de hipótesis) del diseño experimental.

Se realiza la Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes entre la variable cualitativa tipo biotipo y la diferencia de F1 y F2, no encontrando diferencias estadísticamente significativas en ninguna de las dos zonas: anterior (F1, p-valor=0,175) ni posterior (F2, p-valor=0,130).

Por lo tanto, se puede decir que:

- **Se acepta la validación como correcta entre los valores de tensión predictiva por el MEF y los valores encontrados en el diseño experimental. Esta validación permitirá en adelante que el MEF sustituya a la caracterización mecánica experimental (ensayo de laboratorio) en futuros estudios.**
- **Se acepta la hipótesis nula al valorar que no existen diferencias estadísticamente significativas en la fuerza que soporta los disyuntores (F1 – F2) según el biotipo facial.**

5.4. Resultados del ensayo clínico.

5.4.1. Resultados descriptivos.

Para el análisis radiográfico de los CBCT se incluyeron en el grupo irradiado a 20 pacientes (8 mujeres y 12 hombres, edad media de 8.31 y DS 1.75) y en el grupo irradiado a 19 pacientes (13 mujeres y 6 hombres, edad media de 8.63 y DS 1.95).

5.4.1.1. Estudio cuantitativo.

En la tabla 5.15 se describe la media y su desviación estándar de la expansión realizada en los 4 puntos analizados tras la ERM y a los 75 días de retención. Se trata del análisis cuantitativo que realizaron los 2 radiólogos. Se trata de describir los hallazgos radiológicos sin tener en cuenta la variable irradiado/placebo.

Tabla 5.15. Análisis descriptivo cuantitativo de las distancias obtenidas en CBCT 1 y CBCT 2.

		Media	DS
Primer escáner	Máxima distancia Sutura	45,72	±11,3
	SUTURA INFERIOR DISTANCIA	41,15	±10,86
	SUTURA SUPERIOR DISTANCIA	34,64	±8,95
	ESPINA NASAL DISTANCIA	39,38	±14,23
Segundo escáner	Máxima distancia Sutura	11	(0 - 24)
	SUTURA INFERIOR DISTANCIA	0	(0 - 0)
	SUTURA SUPERIOR DISTANCIA	0	(0 - 15)
	ESPINA NASAL DISTANCIA	0	(0 - 11)

5.4.1.2. Estudio cualitativo.

A continuación, en tabla 5.16 se detalla el análisis cualitativo llevado a cabo para ambos CBCT.

Tabla 5.16. Análisis descriptivo cualitativo de la sutura maxilar en diferentes zonas de su anatomía. Las casillas en blanco indican si la sutura estaba aproximada o no, mientras que las casillas en azul indican en que estadio de organización se encontraba los márgenes suturales.

			Mean	DS
Primer escáner	SUTURA INFERIOR CORTICAL ANTERIOR	0	39	100%
	SUTURA INFERIOR CORTICAL ANTERIOR	1	0	0%
	SUTURA INFERIOR CORTICAL POSTERIOR	0	39	100%
	SUTURA INFERIOR CORTICAL POSTERIOR	1	0	0%
	SUTURA INFERIOR CARACT SUTURA	2	39	100%
	SUTURA SUPERIOR CORCTICAL ANTERIOR	0	39	100%
	SUTURA SUPERIOR CORCTICAL ANTERIOR	1	0	0%
	SUTURA SUPERIOR CORTICAL POSTERIOR	0	39	100%
	SUTURA SUPERIOR CORTICAL POSTERIOR	1	0	0%
	SUTURA SUPERIOR CARÁCTER SUTURA	2	39	100%
	ESPINA NASAL CARACTERISTICAS	0	39	100%
ESPINA NASAL CARACTERISTICAS	1	0	0%	
AGUJERO INTERINCIS	0	39	100%	
AGUJERO INTERINCIS	1	0	0%	
ELEMENTOS APROX O CONTINUOS	0	39	100%	
CONCLUSIÓN FINAL	0 Separada	0	39	100%
	1 aproximación mínima	1	0	0%
	2 aproximación moderada	2	0	0%
	3 aproximación significativa	3	0	0%
	4 aproximación completa	4	0	0%
Segundo escáner	SUTURA INFERIOR CORTICAL ANTERIOR	0	4	10%
	SUTURA INFERIOR CORTICAL ANTERIOR	1	35	90%
	SUTURA INFERIOR CORTICAL POSTERIOR	0	23	59%
	SUTURA INFERIOR CORTICAL POSTERIOR	1	16	41%
	SUTURA INFERIOR CARACT SUTURA	1	21	54%
	SUTURA INFERIOR CARACT SUTURA	2	2	5%
	SUTURA INFERIOR CARACT SUTURA	3	16	41%
SUTURA SUPERIOR CORCTICAL ANTERIOR	0	6	15%	
SUTURA SUPERIOR CORCTICAL ANTERIOR	1	33	85%	
SUTURA SUPERIOR CORTICAL POSTERIOR	0	18	46%	
SUTURA SUPERIOR CORTICAL POSTERIOR	1	21	54%	
SUTURA SUPERIOR CARÁCTER SUTURA	1	27	69%	
SUTURA SUPERIOR CARÁCTER SUTURA	2	2	5%	
SUTURA SUPERIOR CARÁCTER SUTURA	3	8	21%	

		4	2	5%
	ESPIÑA NASAL CARACTERISTICAS	0	16	41%
		1	23	59%
	AGUJERO INTERINCIS	0	8	21%
		1	31	79%
	ELEMENTOS APROX O CONTINUOS		4	(3 - 6)
	CONCLUSIÓN FINAL	0 Separada	1	3%
		1 aproximación mínima	1	3%
		2 aproximación moderada	9	23%
		3 aproximación significativa	18	46%
		4 aproximación completa	10	26%

5.4.2. Resultados inferenciales (contraste de hipótesis).

5.4.2.1. Estudio cuantitativo.

En la tabla 5.17 se detalla la relación existente entre las 4 distancias medidas a lo largo de la sutura maxilar y si el grupo fue irradiado o bien fue placebo.

Tabla 5.17. Análisis inferencial cuantitativo entre pacientes irradiados y grupo placebo.

		No irradiados		Grupo placebo		p-valor
		Media	DS	Media	DS	
Primerescáner	Máxima distancia Sutura	47,85	±11,08	43,47	±11,39	0,232
	SUTURA INFERIOR DISTANCIA	42,20	±11,35	42	±10,52	0,544
	SUTURA SUPERIOR DISTANCIA	35,30	±9,98	33,95	±7,93	0,643
	ESPIÑA NASAL DISTANCIA	42,35	±13,66	36,26	±14,52	0,185
		Mediana	DS	Mediana	DS	
Segundo escáner	Máxima distancia Sutura	0	(0 - 23,50)	13	(0 - 27)	0,399
	SUTURA INFERIOR DISTANCIA	0	(0 - 0)	0	(0 - 0)	0,377
	SUTURA SUPERIOR DISTANCIA	0	(0 - 0)	11	(0 - 20)	0,040*
	ESPIÑA NASAL DISTANCIA	0	(0 - 15)	0	(0 - 9)	0,806

No existieron diferencias estadísticamente significativas en la expansión entre ambos grupos, aunque la expansión fue ligeramente mayor en el grupo de pacientes irradiados.

Existió una relación estadísticamente significativa entre la distancia de la sutura superior y el grupo irradiado. Es decir, se puede decir que en pacientes en los que se irradió con LLLT la sutura superior, existió una mediana de 0 milímetros entre los márgenes en la zona posterior a los 75 días. (Figura 5.13)

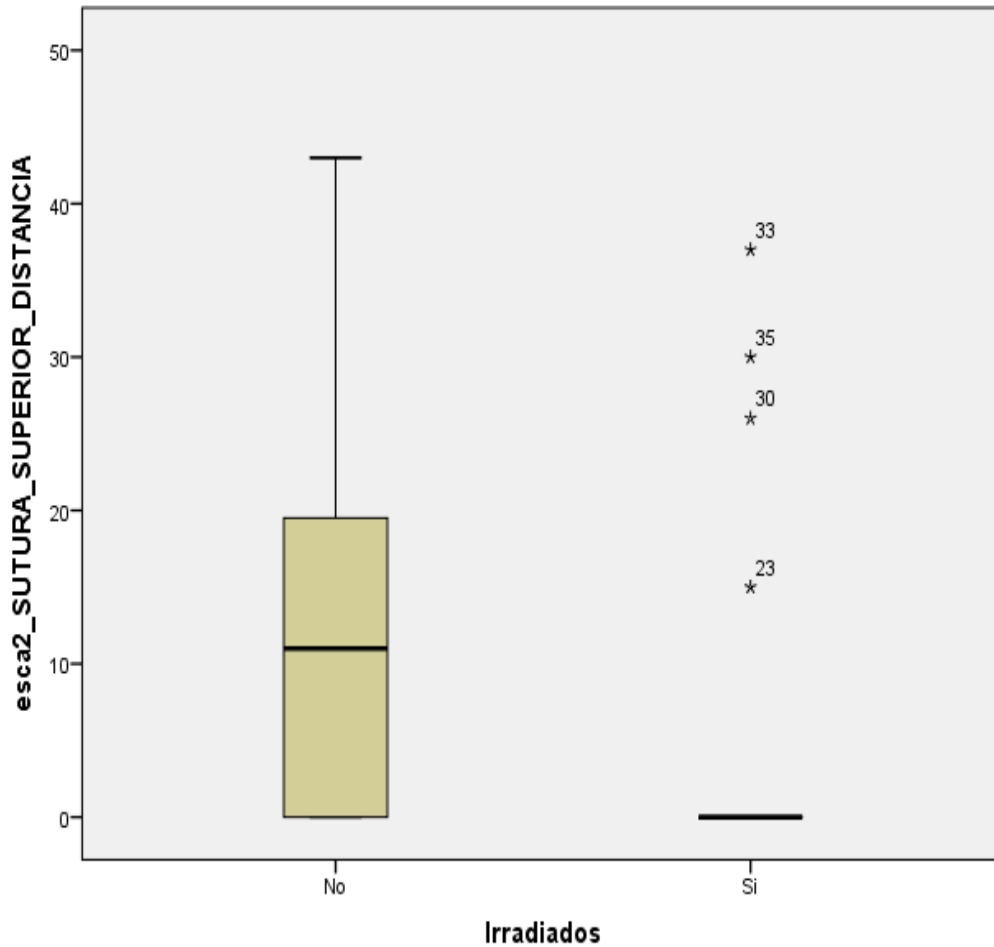


Figura 5.13. Gráfico que muestra la agrupación de pacientes con separación intrasutura entre pacientes irradiados (Si) y pacientes placebo (No).

5.4.2.2. Estudio cualitativo.

A continuación, se muestra en la tabla 5.18 la relación existente que se establece entre los datos descriptivos de la sutura y los 2 grupos en el CBCT 2. El CBCT 1 no se muestra, ya que todas las suturas estaban bien definidas y todos los elementos analizados estaban separados.

Tabla 5.18. Análisis inferencial cualitativo. Las casillas azules muestran como describen los radiólogos el estado de la sutura. * Valores estadísticamente significativos. -- No se cumplen las condiciones para aplicar el test, pero parece que no hay relación entre las variables.

			No Irradiados		Grupo placebo		p-valor
			n	%	N	%	
CBCT 2	SUTURA INFERIOR CORTICAL ANTERIOR	0	3	15%	1	5%	0,605
		1	17	85%	18	95%	
	SUTURA INFERIOR CORTICAL POSTERIOR	0	11	55%	12	63%	0,748
		1	9	45%	7	37%	
	SUTURA INFERIOR CARACT SUTURA	1	9	45%	12	63%	0,265
		2	2	10%	0	0%	
		3	9	45%	7	37%	
	SUTURA SUPERIOR CORTICAL ANTERIOR	0	0	0%	6	32%	0,008 *
		1	20	100%	13	68%	
	SUTURA SUPERIOR CORTICAL POSTERIOR	0	4	20%	14	74%	0,001 *
		1	16	80%	5	26%	
	SUTURA SUPERIOR CARÁCTER SUTURA	1	17	85%	10	53%	0,212
		2	0	0%	2	11%	
		3	3	15%	5	26%	
		4	0	0%	2	11%	
ESPINA NASAL CARACTERISTICAS	0	7	35%	9	47%	0,433	
	1	13	65%	10	53%		
AGUJERO INTERINCIS	0	2	10%	6	32%	0,127	
	1	18	90%	13	68%		
ELEMENTOS APROX O CONTINUOS		5	(4 - 6)	4	(3 - 5)	0,056	
CONCLUSIÓN FINAL	0 Separada	0	0%	1	5%	0,450	
	1 Aprox. mínima	1	5%	0	0%		
	2 Aprox. moderada	3	15%	6	32%		
	3 Aprox.significata	10	50%	8	42%		
	4 Aprox. completa	6	30%	4	21%		

Una vez se definió las zonas intra suturales como aproximadas o no aproximadas, se hallaron diferencias estadísticamente significativas entre las variables irradiados (Si/No) y aproximación (Si/No) de la sutura antero-superior

($p = 0.008$) y entre las variables irradiados (Si/No) y aproximación (Si/No) de la sutura postero-superior ($p = 0.001$), tal y como se representa gráficamente en la figura 5.14.

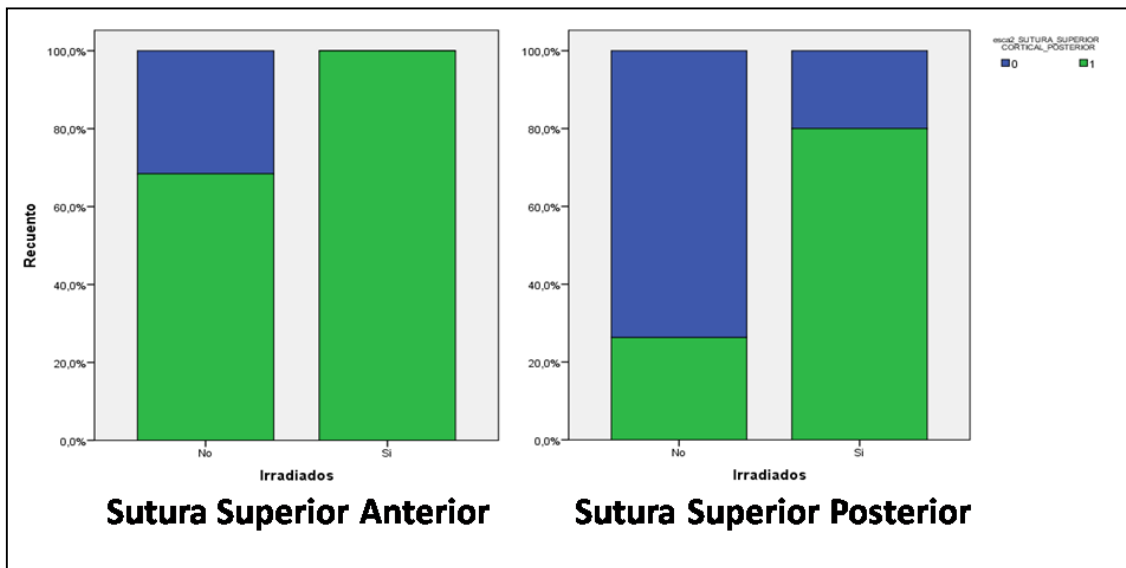


Figura 5.14. Gráfico de barras apiladas con los porcentajes de pacientes con la sutura aproximada en la zona anterior y posterior de la sutura superior.

Aunque no es estadísticamente significativo, a los 75 días de retención fija, el 65% de los pacientes irradiados presentaban la ANS aproximada, frente al 53% del grupo no irradiado (p -valor de 0.43) y el 90% de los pacientes irradiados tenían la cortical del agujero interincisivo reorganizada, frente al 68% de los casos no irradiados (p -valor de 0.127).

a. Estado de la sutura a los 75 días .

Los radiólogos concluyeron que la mediana de elementos aproximados para ambos grupos fue la de aproximación significativa. Fue significativo que los pacientes irradiados presentasen un elemento más aproximado que los no irradiados (p -valor de 0.056) tal y como se representa en la gráfica de la figura 5.15. Existía una diferencia significativa en el porcentaje de zonas aproximadas entre ambos grupos. Para los pacientes irradiados el 50% presentaba aproximación significativa y un 30% aproximación completa, frente al 42% y 21% respectivamente de los pacientes no irradiados ($P = 0.450$), es decir, un 27% de pacientes irradiados presentaban un mayor grado de aproximación de sus márgenes suturales maxilares que los pacientes no irradiados.

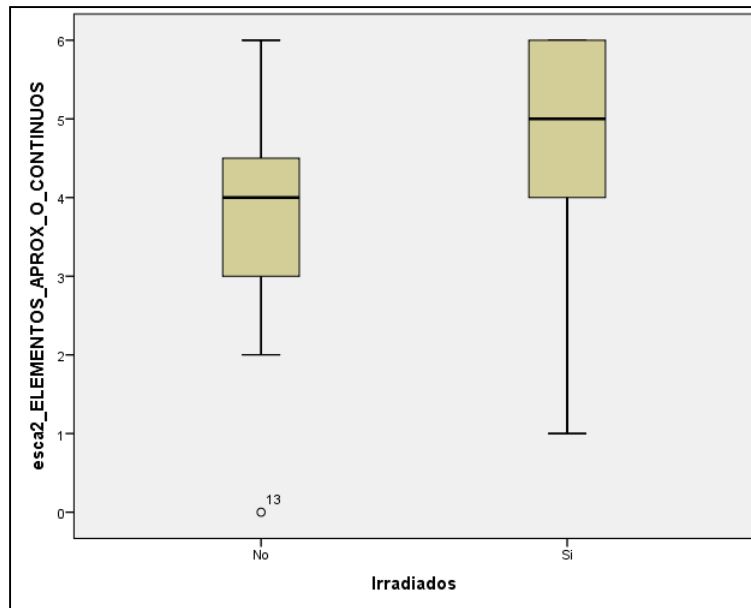


Figura 5.15. Representación gráfica sobre el porcentaje de pacientes con elementos aproximados para los pacientes placebo e irradiados.

Por lo tanto se puede decir que;

- **Se acepta la hipótesis de trabajo**, ya que el estudio ha demostrado que existen diferencias estadísticamente significativas en la distancia intrasutura y el nivel de aproximación de los márgenes de la sutura entre el grupo placebo y el grupo irradiado.

5.5. Relación Tensión-Distancia Máxima Anterior.

A continuación se muestra los resultados obtenidos de la relación Tensión-Distancia Máxima Anterior. El fin es valorar que a mayor distancia entre las suturas del hueso maxilar mayor tensión acumulada.

5.5.1. Resultados descriptivos.

Las gráficas de la figura x relacionan la tensión acumulada en el brazo A y B en el momento T2/Escáner 1 (Figura 5. 12. A y B) y la tensión acumulada en el brazo A y B para el momento T7/Escáner 2 (Figura 5. 12. C y D).

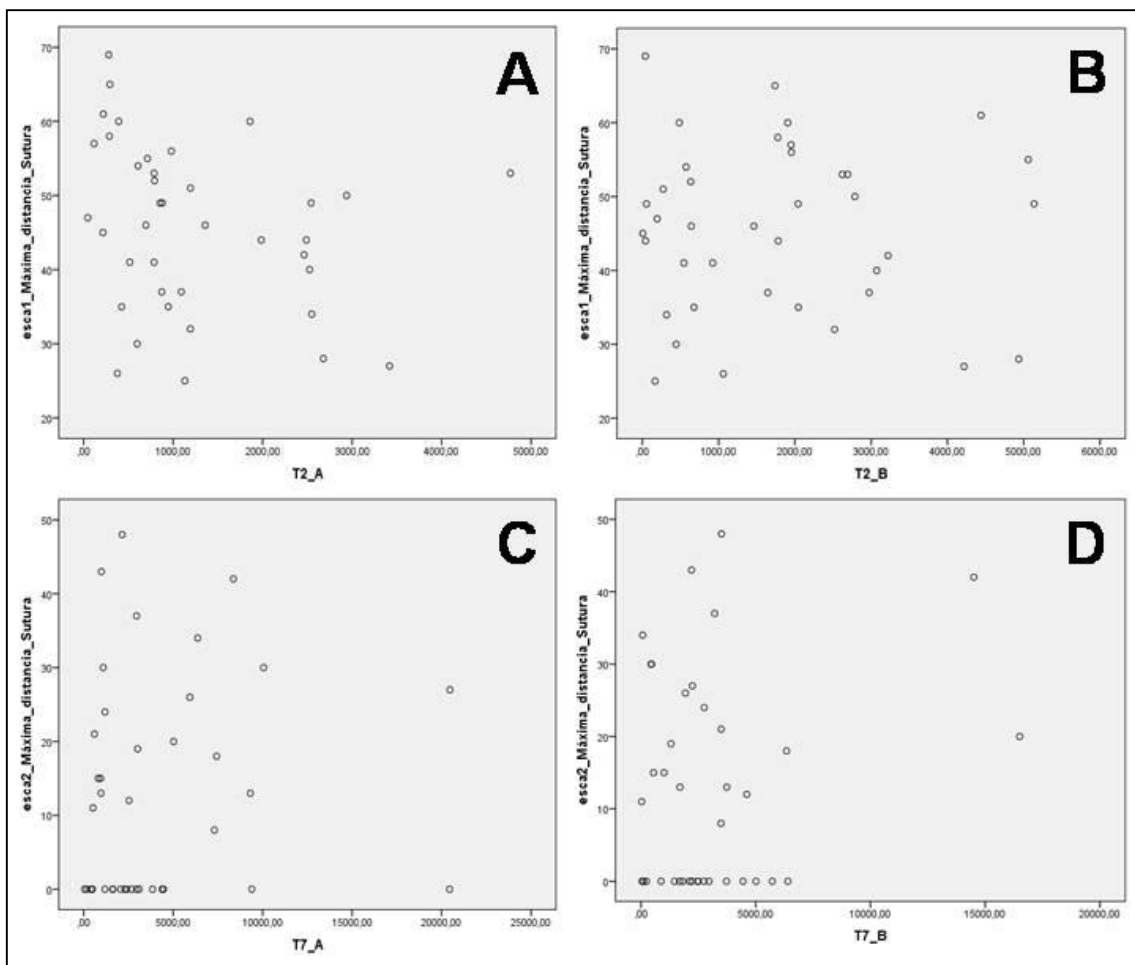


Figura 5.16. Gráfica que muestra la relación entre la tensión acumulada y la distancia intrasutura en el primer escáner en el brazo A y B (Figura 5.16. A y B) y en el segundo escáner para el brazo A y B (Figura 5.16. C y D).

Se aprecia que no existe una relación lineal entre tensión acumulada y distancia. De hecho, pacientes en los que la sutura presenta 0 distancia presentan tensión acumulada.

4.5.2. Resultados inferenciales (contraste de hipótesis).

Debido a que existían valores extremos de tensión, se decidió utilizar el coeficiente de correlación Rho de Spearman (Tabla 5.19).

Tabla 5.19. Correlación ente las variables Máxima distancia de la sutura y Brazo A y B en T2 (primer escáner) y T7 (segundo escáner).

		Escáner 1		Escáner 2	
		T2 Brazo A	T2 Brazo B	T7 Brazo A	T7 Brazo B
Máxima distancia Sutura	Coeficiente de correlación	-,353*	,013	,186	,030
	Sig. (bilateral)	,028	,935	,256	,854
	N	39	39	39	39

Existe relación entre las variables máxima distancia sutura y brazo A tras finalizar la fase de activa de expansión.

5.6. Resultados de la revisión bibliográfica.

Un total de 84 estudios fueron inicialmente identificados de los cuáles se seleccionó a 16 (11 estudios sobre animales y 5 estudios sobre humanos). En la tabla 5.20 y 5.21 se detalla la información sobre el tipo de aparato utilizado y los parámetros de irradiación y de tratamiento.

Tabla 5.20. Resumen de datos del dispositivo laser y de los parámetros de irradiación en estudios humanos y en ratas.

Primer autor, año	Información del dispositivo		Parámetros de irradiación				
	Productor	Medio Láser	Longitud de onda	Modo de operar	Media radiant power	Beam Area	Irradiance at target
Limpanichkul, 2006	Top Laser 250 Sir 100, Medical Innovation, France.	GaAIAs	860 nm	CW	100 mW	0.09 cm ²	1.1W/ cm ²
Sousa, 2011	TwinLaser,MMoptics Ltda. Brazil.	GaAIAs	780 nm	CW	20 mW	0.04 cm ²	0.5W/ cm ²
Youssef, 2008	NS	GaAIAs	809 nm	NS	100mW	0.5 cm ²	0.2W/ cm ²
Cruz, 2004	TwinLaser,MMoptics Ltda. Brazil.	GaAIAs	780 nm	CW	20mW	0.04 cm ²	0.5W/ cm ²
Doshi-Metha, 2012	LA3D0001.1;LAMBDA S.p.A., Vicenza, Italy	GaAIAs	808nm	CW	0.25 mW	0.04 cm ²	0.00625W/ cm ²
Gama, 2010	Laser Unit; Kondortech, Brazil	NS	790nm	NE	40mW	0.0314 cm ²	12.7W/ cm ²
Abi-Ramia,2010	TheraLase; DMC Equipamentos, Brazil	GaAIAs	830 nm	NE	100 mW	0.02 cm ²	4.5 W/ cm ²
Yoshida , 2009	Osada Inc., Japan	GaAIAs	810 nm	CW	100mW	0.0028 cm ² *	35.71W/ cm ²
Yamaguchi, 2007	Osada Inc., Japan	GaAIAs	810 nm	CW	100 mW	0.0028 cm ² *	35.71W/ cm ²
Fujita, 2008	Osada Inc., Japan	GaAIAs	810 nm	CW	100 mW	0.0028 cm ² *	35.71W/ cm ²
Kawasaki, 2000	Panalas 1000 prototype, Matsushita Industrial Equipment, Inc.	GaAIAs	830 nm	CW	100 mW	0.0028 cm ² *	35.71W/ cm ²
Marquezan, 2010	TheraLase; DMC Equipamentos, Brazil	GaAIAs	830 nm	CW	100 mW	0.0028 cm ² *	35.71W/ cm ²
Habib, 2010	NS		790 nm	NS	40mW	0.0314 cm ²	12.7W/ cm ²

Habib, 2012	Laser Unit Kondortech, Brazil	GaAIAs	790 nm	CW	40mW	0.0314 cm ²	12.7W/ cm ²
Yamaguchi, 2010	Osada Inc., Japan	GaAIAs	810 nm	CW	100mW	0.0028 cm ^{2*}	35.71W/ cm ²
Duan, 2012	Bio-Flex LDI-200, Canada	GaAIAs	830 nm	CW	180mW		
				PW 2.5%	50% (duty cycl e)	0.2 cm ²	0.9 W/ cm ²
				PW4.50 %			
				PW8.50 %			

CW Modo continuo, **PW** modo pulsado, **NS** No Especificado, **GaAIAs** Gallium-Aluminium-Arsenide. * Los autores consideran que el The authors consider that the beam area and irradiance que figuran en la table son improbables y quizás no se debería confiar en ellas.

Tabla 5.21. Resumen de los datos de los parámetros de tratamiento en estudios humanos y en ratas.

Primer autor, año	Parámetros de tratamiento					
	Duración de la exposición	Ener gy por punt o	Energy Density por punto	Total energy por diente	Número de puntos irradiado s	Técnica de aplicación
Limpanichkul, 2006	23seg	2.3J	25.6J/c m ²	204,5 J	8	Contacto
Sousa, 2011	10seg	0.2J	5.0J/cm ²	50 J	10	Contacto
Youssef, 2008	10 seg/20se g*	1J	2J/cm ²	12 J	6	Contacto
Cruz, 2004	10seg	0.2 J	5.0 J/cm ²	50 J	10	Contacto
Doshi-Metha, 2012	8seg	0.00 2J	0.05J/c m ²	0.5 J	10	Contacto
Gama, 2010	32.5 seg	1.3J	41.4 J/cm ²	5.2 J	4	NE
Abi-	4seg	0.4J	18	1.2 J	3	Contacto

Ramia,2010			J/cm ²			
Yoshida , 2009	135seg	13.5 J	4821.4 J/cm ²	54J	4	Contacto
Yamaguchi, 2007	180seg	18J	4821.4 J/cm ²	54J	3	Contacto
Fujita, 2008	180seg	18J	4821.4 J/cm ²	54J	3	Contacto
Kawasaki, 2000	180seg	18J	4821.4 J/cm ²	54J	3	Contacto
Marquezan, 2010	180seg	18J	4821.4 J/cm ²	54J	3	Contacto
Habib, 2010	180seg	7.2J	229.3J/cm ²	21.6 J	3	NE
Habib, 2012	180seg	7.2J	229.3J/cm ²	21.6 J	3	NE
Yamaguchi, 2010	180seg	18J	4821.4 J/cm ²	54J	3	Contacto
Duan, 2012	4seg					
	8seg					
	8seg	0.72 J	3.6 J/cm ²	2.16 J	3	Contacto
	8seg					

NS No Especificado, *Contacto (en contacto con la mucosa) *10 segundos en el área cervical y apical y 20 segundos en el área media.*

En la tabla 5.22 se describe las características de los pacientes (estudios sobre humanos) y el método de tracción empleado.

Tabla 5.22. Resumen de datos de los ensayos realizados en humanos. (Características de los pacientes y método de tracción).

	N pacientes irradiados/ (grupo control)	Género/ edad	Dientes extraídos	Inicio de la tracción	Prescripción de los brackets / arco	Fuerza	Resultado
Limpanichkul, 2006	12	4 hombres- 8 mujeres/	Mx superior PM	3 meses después de	Roth/ Australian Premium Plus arch	150g	No

		20.11+/- 3.4 años	izquierda/ derecha	la extracción	arco (0.022x0.028)		
Sousa, 2011	13	4 hombres-6 mujeres/ 13.1 años	Mx y MD superior PM	3 meses después de la extracción	Andrews (Ormco)/acero inoxidable (0.016)	150g	↑
Youssef, 2008	30	Ambos géneros/ 14-23 años	Mx y MD superior PM	NE	Rickets (RMO)/ NE	150g	↑
Cruz, 2004	11	Ambos géneros/ 12-18 años	Mx superior PM	NE	Roth (Dental Morelli)/0.017x0.025 Niquel-titanium	150g	↑
Doshi-Metha, 2012	20	8 hombres- 12 mujeres/ 12-23 años	Mx y MD superior PM	21 después de insertar el arco 19x25-de acero inoxidable	McLaughlin Bennett Trevisi(Ortho Organizers/19x25- acero inoxidable	150g	↑

PM premolar, **Mx** Maxilar, **Md** Mandibula, **NE** No Especificado , ↑ Diferencias significativas en las mediciones de los pacientes irradiados, **No** No diferencias entre grupos.

Del mismo modo, en la tabla 5.23 se describe las características de las ratas y el método de tracción empleado.

Tabla 5.23. Resumen de datos de los 11 ensayos en animales. (Características de los sujetos y método de tracción).

Primer autor, año	N irradiados/ (grupo control)	Edad y media del peso	Fuerza	Resultado
Gama, 2010	15 /15	3 meses/ 250-300 gr	40 g/F	=
Abi-Ramia,2010	20 /25	NE- 300 gr	0.4 N	↑
Yoshida , 2009	30/30	6 semanas-edad/ 180 gr	10g/F	↑
Yamaguchi, 2007	25/25	6 semanas-edad / 180 gr	10g/F	↑
Fujita, 2008	25/75	6 semanas-edad / 180 gr	10g/F	↑
Kawasaki, 2000	24/24	6 semanas-edad / 180 gr	10g/F	↑
Marquezan, 2010	18/18	12 semanas-edad /250 gr	40 cN	↓
Habib, 2010	15/15	3 meses/ 250-300 gr	40 g/F	↑
Habib, 2012	15/15	3 meses/ 250-300 gr	40 g/F	↑
Yamaguchi, 2010	25/25	6 semanas-edad / 180 gr	10g/F	↑
Duan, 2012	44/8	6 weeks-old/ 200-250gr	10g/F	↑

NE No Especificado, ↑ Existen diferencias significativas en el grupo irradiado, ↓ Diferencias biológicas significativas en el grupo control, = No hay diferencias entre ambos grupos.

Por último, de los estudios en animales se explica los parámetros biológicos valorados, las técnicas histoquímicas empleadas y cuando se encontró diferencias estadísticamente significativas. Tabla 5.24.

Tabla 5.24. Relación entre los parámetros biológicos valorados, la técnica histoquímica y el día en el que se encontró diferencias o no estadísticamente significativas.

Parámetros biológicos	Técnica histoquímica	Primer autor y año	Días / Diferencia	
			Si	No
Vascularización	H&E	Abi-Ramia, 2010	3 ^a	
Osteoclastos	TRAP	Kawasaki, 2000	2 ^b	
		Yamaguchi, 2007	2 ^c , 4 ^c y 7 ^c	
		Yamaguchi, 2010	2 ^c , 4 ^c y 7 ^c	
		Fujita, 2008	2 ^c , 4 ^c y 7 ^c	
		Marquezan, 2010		No
	<i>MMP-9, cathepsin K, and integrin subunit of $\alpha(v)\beta3$</i>	Yamaguchi, 2010	2 ^c , 3 ^c , 4 ^c y 7 ^c	
	<i>RANK and RANKL</i>	Fujita, 2008	2 ^b y 3 ^b	
	<i>(M-CSF)/ (CSF-1).</i>	Yamaguchi, 2007	2 ^b , 3 ^b , 4 ^b y 7 ^c	
	HE and Sirius red	Habib, 2010	7 ^d y 19 ^e	
Osteoblastos	HE and Sirius red	Habib, 2010	7 ^d y 13 ^d	
	OPG	Fujita, 2008		No
Fibras de colagen	Picosirius	Maquezan, 2010		No
		Habib, 2010	13 ^e y 19 ^e	
	PCNA	Kawasaki, 2000	1 ^b y 2 ^b	
Hialinización	HE and Sirius rojo	Habib, 2012	7 ^e y 9 ^f	

a no existen diferencias estadísticamente significativas, b-f diferencias estadísticamente significativas b ($P < 0.01$), c ($P < 0.05$), d ($p=0.015$) and e ($p=0.007$), f ($p=0.048$). **HE**: hematoxilina and eosina, **TRAP**: expresión del ácido tartrato-resistente ácido fosfatasa, **MMP-9**: Matrix metalloproteinase, **RANK and RANKL**: receptor activador del nuclear factor- κ B/RANK ligand (RANKL) system, **(M-CSF)/ (CSF-1)**: colonia-estimuladora factor system/ colony-stimulating factor-1, **OPG**: osteoprotegerina

Chapter6

Discussion

6.1. Strain behavior	221
6.1.1. Strain- Pattern of growth.	221
6.2. Determination of forces	224
6.3. Photobiomodulation	229
6.3.1. The laser as an accelerator for bone remodelling (review bibliography)	229
6.3.2. Effects on the maxillary suture	232
6.4. Relationship between Accumulated Strain – Laser Irradiation – Maximum Anterior Distance	235

Chapter 6

Discussion

A total of 44 patients participated in the clinical trial "Short-term effects of orthopedic expansion treated with low intensity laser in mixed dentition" carried out at the facilities of the University of Barcelona Dental Hospital during the academic year 2013-2014. To relate our results to the scientific literature they will be broken down into different sections. As the first point, the behavior of the strain on the RME appliance, followed by an analysis of the force born by the RME appliances through validation analyzes.

Later the laser photobiomodulation capacity is commented using the results of the literature review and radiological findings discussed by CBCT. Finally, we will try to establish a relationship of how strain can be affected by laser irradiation.

6.1. Strain behaviour.

6.1.1. Strain- Pattern of growth.

While Brosh et al. used a screw hyrax supported by molar and premolar bands on the teeth, this study used a hyrax type screw supported by acryl (Brosh et al. 1998). This was due to the inclusion criteria of mixed dentition and this is why it was considered that more surface contact between the appliance and the teeth could better distribute the force, which would result in better strain distribution in the surrounding bone. This can explain the differences in strain that were found in other studies, because while the hyrax is cemented to two permanent teeth, the acrylly-supported screw is cemented to the upper permanent first molar and temporal molars. Furthermore, since the transmission of force between the hyrax screw and the teeth through the acrylic splint was placed on a surface near the tooth's location, in comparison with the use of bands for the same net force on the teeth, deformation produced in the arms was greater. This explains the higher value of the strain readings of the present study compared to others (Brosh et al. 1998, Sun et al 2011, Zimring & Isaacson 1965). This is explained by an expansion force line of action which is further away from the screw's core, having a greater bending moment in the 1.5 mm diameter arm. Thus, higher sensitivity is achieved in the measurement; that is to say that, small changes in force can be detected. The FE analysis of the screw allowed us to calculate the expected gauge readout for a certain screw load. Thus, it was possible to identify the gauge's optimum location and avoid poorly sensitive locations. For instance, according to the FE analysis, a uniform distribution of 20 Newtons on the patient's maxilla would lead to a maximum readout of 1100 (absolute value $\times 10^{-6}$) for the strain in the anterior arm at the selected location and a nearly zero readout at inappropriate

locations. Moreover, the geometry of the appliance once it is implanted, the initial position of the teeth and the precise location of the gauges appreciably affect the deformation, determined by the gauge, on the forces applied to the teeth. Therefore, since the geometry is not exactly the same, it is not possible to compare the exact values from studies by different authors, and small differences are not necessarily significant. However, it is possible to compare patterns of forces / strain / deformation, as discussed in this section.

As in the other studies, both strain and expansion generally increase with active treatment progression, so the more expansion there is, the greater the strain is (Brosh et al. 1998, Sun et al 2011, Zimring & Isaacson 1965). The role activations play in strain build-up is important, since it has been demonstrated that upon activation of the strain, dissipation starts again, being performed until a new activation (Brosh et al. 1998, Zimring & Isaacson 1965). Thus, the residual strain depends on the activation range. While Brosh activated the screws 4 times every 3 or 4 days (Brosh et al. 1998), in this study there were 2 activations, with the activation phase being an average of 22 days. The difference in the activation protocol responded to patient needs. Leonardi et al. concluded in a study that compares circumaxillary sutures by superimposing CT scans that the size of the opening is different amongst sutures and highly variable amongst subjects (Leonardi et al. 2011). Zimring & Isaacson found that in younger patients, residual stress dissipates more quickly after each activation than in older patients (Zimring & Isaacson 1965). Upon completion of the expansion phase, it was found that Brosh had higher tension in the anterior arm (1422 μ S) than in the posterior arm (1259 μ S) (Brosh et al. 1998), whereas in this study it was found that the posterior arm had higher strain than the anterior (1755.37 μ S vs 1226.15 μ S).

Phase retention in Brosh's study was less than 30 days and that of Zimring & Isaacson's study was between 30 and 45 days (Brosh et al. 1998, Zimring & Isaacson 1965), while the residual strain test was analyzed for 75 days. In the 4 patients of Zimring & Isaacson's study, there was a decrease of the load from the first day of the retention phase and full strain dissipation within 2 months of retention (Zimring & Isaacson 1965). In the study by Brosh, during analysis in the retention phase there was no decrease in tension and the average of the last measurement in the anterior arm was 1878 μ S and 1425 μ S in the posterior arm (Brosh et al. 1998). Although this study did not discuss tension dissipation after each activation, we did evaluate the overall dissipation. If we compare the results obtained at day 30 in this study, an average was shown in the anterior arm of 3223.02 μ S and in the posterior arm the average was 2559.67 μ S, showing that in 13.75% of the anterior arms and 12.5 % of the posterior arms the residual strain began to reduce. What's more, in 6.25% of the arms, the tension began to dissipate after the fixing of the screw, coinciding with Zimring & Isaacson's patients (Zimring & Isaacson 1965).

Like Brosh et al., in the retention phase the residual strain was greater in the anterior arm than in the posterior arm (Brosh et al. 1998). This matches the

results found by Chaconas & Caputo, where the strain produced by the fixed appliances was concentrated in the anterior region of the palate, progressing posteriorly towards the palatine bone (Chaconas & Caputo 1982). This may respond to why orthopedic suture separation is greater in the front area in response to a triangular-shaped pattern where the base is wider at the front portion of the jaw (Garret et al 2008). This contrasts with the resistance that the facial skeleton can offer, since the posterior arm is affected by the interlocking pyramidal processes of the palatine bone with the medial and lateral pterygoid immovable plates of the sphenoid bone and the proximity to the circumaxillary sutures (Wertz 1968, Işeri & Ozsoy 2004) Therefore, we believe that strain should be higher in the posterior than in the anterior. This is supported by the data obtained, where the maximum strain at the end of the expansion phase is higher in the posterior arm (1755.37 μ S) than in the anterior arm (1226.15 μ S). However, the greatest strain is transferred to the anterior zone in the retention phase (4069.45 μ S) and (3037.47 μ S), anterior and posterior respectively, and this can make us think that the bony structures that initially offered resistance to the expansive force have later absorbed said force and could have been remodeled, giving rise to the fact that said remodeled bone structure itself provides stability to the expansion created. By contrast, in the anterior area, farther from the circumaxillary sutures, it is more difficult for residual strain to be absorbed and dissipated. As Mao discussed, sutures play an important role in the absorption and transmission of mechanical strain arising from loads generated by orthopedic appliances (Mao 2002). So, during the retention phase, the posterior area that is closest to the circumaxillary sutures can detect less accumulated tension, and the brachycephalic and mesocephalic sutural patterns with larger surface tensions can absorb greater load.

Brosh et al. found a significant decrease in residual strain during the active phase and, therefore, the theory of major resistance provided by mid-palatal sutures, which advises against splitting, could not be supported (Brosh et al 1998). However, in our study, once the expansion phase was completed, the initial dissipation of the residual strain could be seen in 6.25% of the arms, and after 15 days it accumulated or increased up to 8.75% of the total sample. According to Zimring & Isaacson, at 45 days there was complete dissipation (Zimring & Isaacson 1965) while in our case, during T5 (45 days) the process of dissipation began in 43.75% of the cases and in 61.25% during T6. Therefore, we believe that the different tension patterns in our patients can be explained by different circumaxillar complex features. Authors like Halazonetis et al. suggest that the tension generated on the jaw muscles not be decreased for a four-month period of time after rapid expansion and they relate the absence of strain dissipation to relapse (Halazonetis 1994). The effects of muscle thickness on bone morphology can be explained by a theory which is recognized in the biodynamics field as Wolff's law (Dibbets 1992). The morphology of the maxillomandibular complex is closely related to the surrounding muscle system, and the end result is somewhere between a long or short face vertically

(Satiroğlu et al. 2005, Chan et al. 2008, Custodio et al. 2011). The results showed a significant association between vertical facial pattern and masseter muscle thickness, being thinner in hyperdivergent patterns (Satiroğlu et al. 2005). The maxilla and mandible's cortical is thinner in adult patients with a hyperdivergent pattern (Ozdemir et al. 2013) However, Becht et al. suggest that certain types of malocclusion can have different lengths and muscle orientation and these can involve different masticatory forces (Becht et al. 2014). All these electromyographic and radiographic studies have been performed in adults and individuals, unlike the Nakakawayi study, in which there is little difference between brachycephalic and dolichocephalic individuals between 7-14 years old (Nakakawayi et al. 2002). Said study explains that lower facial development occurs at a later time, with the mastication muscles being immature.

Generally, at the end of the expansion phase, the three biotypes followed a pattern of accumulated strain in which strain was higher in the anterior than the posterior, bearing in mind that in the mesocephalic group this was reversed, but the difference was only 201.2 μ S. At the end of the retention phase, as previously discussed, the habitual behavior would be to move the accumulated strain on the posterior zone to the anterior zone, these findings coincide in both mesocephalic and brachycephalic biotypes. However, dolichocephalic patients differ from such conduct and, in the posterior arm, unit deformation continues to increase (Table 5.7). Also, as it has been observed that brachycephalic patients dissipate a greater average accumulated strain in the posterior arm than the anterior one, the possibility that a bony component, on the short term, can absorb the strain and, because of this, dissipate a higher strain could be entertained. As noted, there are statistically significant differences between growth patterns and cumulative patterns of strain. Strain dissipation at the end of the retention phase showed no statistically significant differences between the different growth patterns, however it should be commented that during the T4 period, 36.1% of the arms of the brachycephalic patients started to decrease in strain, while only 29.2% and 5% presented this phenomenon in the dolichocephalic and mesocephalic patients, respectively.

6.2. Determination of forces.

This study has analyzed how the arms of hyrax screws respond to the application of independent forces in different facial biotypes. Moreover, the findings were compared with the clinical results indicating the strain state and deformation of the RME appliances of 40 patients.

Patient-specific study: This work incorporates data on deformation measurements specific to each patient. The FEM model has been used, based upon the real geometry of an appliance used in one of the patients (this appliance was selected as one of the most representative). Therefore, we can

consider that the geometry is highly specific to the patient and the model is highly representative of the group of patients. Likewise, the deformations measured and forces calculated are specific to each patient.

The objective of the work is to explore the application of the proposed method in order to determine forces in the molars. Current scientific/technical know-how allows for modeling of the appliance and the splint reliably so that (as shown through mechanical validation) we can have confidence in the values that we predict for the forces. Current scientific/technical know-how does not allow for the modeling of the molar-bone system reliably (high degree of variability of mechanical properties depending upon the patient – these cannot be known; influence of bone remodeling – fast in patients of a young age; morphological differences of the bone in the cranium itself; coupling of molars to the maxillary; etc.) therefore, the introduction of the bone aspect in the model would increase uncertainty and we would obtain an unreliable result. In our opinion, the first step is to determine the forces exerted on the teeth during treatment (something unknown until now - this is an original work), leaving the modeling of the molars/cranium outside of the scope of this work.

For the construction of the FEM of the maxillary-palatal split screw complex, a hyrax screw with acrylic splints was used. The geometry of the appliance was obtained using the computed tomography. In literature based on FEM models, how RME has influenced zygomatic-maxillary sutures at the level of the zygomatic arch (Provardidis et al. 2008), downward displacement and backward rotation of the maxilla (Gautam et al. 2007) and the base of the sphenoid bone and the frontal process of the zygomatic bone and lateral bending of the free ends of the pterygoid plates has been discussed (Baldawa & Bhad 2011). However, no study in the literature has examined the influence of independent forces on the hyrax screw (Sousa et al. 2013, Don et al. 2003).

The screw that was used in this study was studied by Camporesi et al. and the force generated by the screw after being activated on 20 occasions (1 activation = 0.2 mm) was discussed (Camporesi et al 2013) It was concluded that, with more activations, more force is generated; and, if the arms of the appliance are more rigid, force is better transmitted to the bone structure. The height of the screw determines the angle of the anterior and posterior arms and, therefore, deformation. The greater the length of the arms, the less rigid the appliance will be. It was decided that the screw be placed cranially on the teeth, based on a location similar to clinical location and following the conclusions of Araugio et al. (Araugio et al. 2013). In their study, tooth tipping was assessed using FEM after RME, positioning the screw 10 mm below the maxillary first molars' center of resistance, at the same level as the maxillary first molars' center of resistance, and 10 mm above the maxillary first molars' center of resistance, being the latter the one that generated less dental tipping. However, according Muchitsch et al., during the pre-pubertal period, the rigidity of the retention arms is not as important as it is in the subsequent periods of increasing interdigitation and ossification of the median palatal suture

(Muchitsch et al 2011). So, rigidity is of vital importance in the design of RME appliances for older patients.

At the time when the interdigitating suture separates after RME, Krebs describes that a triangular-based opening pattern occurs in the anterior area of the suture (Krebs 1960) and, according Bishara & Staley, in the posterior area the main cause of resistance opening can be explained by the decrease of the elasticity of the pterygoid process as you progress through adolescence (Bishara y Staley 1987). Provardidis found similar results after analyzing RME by FEM, from which it was concluded that maximum displacement developed in the maxilla below the hard palate, this being higher in the central incisors and decreasing with distance from the latter (Provardidis 2008). Given that the force applied at the F1 point (close to the anterior zone of the suture) and F2 point (near the posterior zone of the suture) responds to the level of resistance in this area, it is understood that the accumulated strain or stress in the anterior region, as confirmed clinically by ours results, is higher due to the stress of F1 and F2 being accumulated, while in the posterior zone it is mainly expressed by force F2. That is to say, if similar forces are generated in the temporary and permanent molars, the anterior gauge would give a greater result than the posterior. When the reading of the gauge is greater in the posterior area, the processed results (F1 and F2) would indicate a negative F1, i.e., there would only be resistance in the posterior area. Therefore, the question may arise whether it would be possible that, during activation, upon exerting force on the posterior area, the anterior area could also expand, leaving expansion in the anterior area without resistance. If separation of the suture means that the anterior area can be separated more easily than the posterior one, then this can explain the effect. As shown in the averages of F1 and F2 obtained in Table 5.14 from the FEA, it can be seen that, at the end of the expansion phase and, thus, time that greatest suture separation is reached, in all growth patterns, F2 is greater than F1 and, therefore, greater distance between hemimaxilla areas and areas of less force can be associated. Mesocephalic and brachycephalic biotypes at the end of the retention force are greater in F1 (anterior) by the sum of the two forces. The first factor is the existence of a force/strain which is greater in the anterior area of the bone component; the second factor is the geometry/material of the RME appliance. The two factors are combined. The RME appliance's effect is to divert a small part of the force/strain of the anterior bone via the posterior arm, while a part of the force/strain of the posterior bone is also deflected to the anterior area (the appliance acts as a source of interference which blurs the Anterior Arm - Anterior Bone relationship and the Posterior Arm - Posterior Bone relationship, and mixes them lightly). That is to say, if the reading of the gauge indicates that the anterior area is only slightly greater, it may be that the force is approximately the same in front as behind. But if the reading of the gauge is much greater in the front, the force will also be higher in the anterior bone. FEA helps to remove this interference and find out exactly (with the hypothesis of two forces) the value in the bone. Thus, when

F1 is greater than F2 at the end of retention phase for mesocephalic and brachycephalic patients, force is more noticeable in the anterior area and, hence, in the posterior area dissipation force is greater. By contrast, in dolichocephalic biotypes, F2 is greater than F1, and, although the strain is expressed equally in the anterior area and in the posterior area (Figure 5.12), a dissipated force of 107 N in the anterior area explains the importance of F1. That is to say, at the time that F1 does not increase, as in mesocephalic-brachycephalic patterns or decreased dolichocephalic patterns, force dissipation exists; as the resistance is much lower (Table 5.14). Furthermore, the magnitude of the forces estimated for patients can generate a controversial issue.

If the ratio of the two forces is analyzed during treatment: at the end of the expansion phase, at the maximum force in retention, and at the end of retention treatment (figures 6.1.A, 6.1.B and 6.1.C, respectively); it is observed that the posterior molar force in dolichocephalic patterns is accentuated. Thus, it can be concluded that this pattern is related to force transference to the posterior molar and can be seen in force evolution during retention treatment in dolichocephalic growth pattern patients (figure 6.11.A). On the contrary, the behavior observed in mesocephalic pattern patients is that the balance of forces after expansion is preserved during retention. Therefore, no transference of forces between the anterior and posterior molar is seen in mesocephalic patients. This behavior can be observed through the force evolution during retention treatment of mesocephalic pattern patients, depicted in figure 6.1.B. A third different evolution can be observed in brachycephalic pattern patients, where the transference of force during retention is produced from the posterior molar toward the temporal molar. Such behavior is illustrated in figure 6.1.C, which shows different force evolution patterns during the retention phase in brachycephalic pattern patients; a reduction of posterior molar force and an increase in temporal molar force can be observed. It can be understood that when two curves do not intersect, this may be because strain is dissipated. By contrast, when they do intersect, this could mean that a higher initial retention force in the anterior / posterior area is replaced by a higher final retention force in the posterior / anterior zone, respectively.

The average of the maximum values of F1 was produced at T7, at 75 days' retention (33.97 N), while the average of the minimum values was at T2, at the end of the expansion phase (1.106413 N). In 62.5% of the patients, force decreased before time T7. However, the average of the maximum values of F2 was at time T5 (65.24 N), while the minimum was at T7 (37.663118) (regardless of T1). In 80% of the patients, force decreased before time T7. This prediction indicates that patients received a resistant force in the skull at the end of the expansion phase which was larger in the posterior area than in the anterior area and it dissipated faster in the posterior area. In the average values of dissipated force, a reverse pattern was present; that is to say, the dissipated force was

greater in F2 in strong patterns (brachycephalic), decreased in balanced patterns (mesocephalic) and the minimum force was expressed in patterns of vertical growth (dolichocephalic). For F1, dissipation occurred in a contrary manner, being higher in the vertical pattern and lower in strong or horizontal patterns.

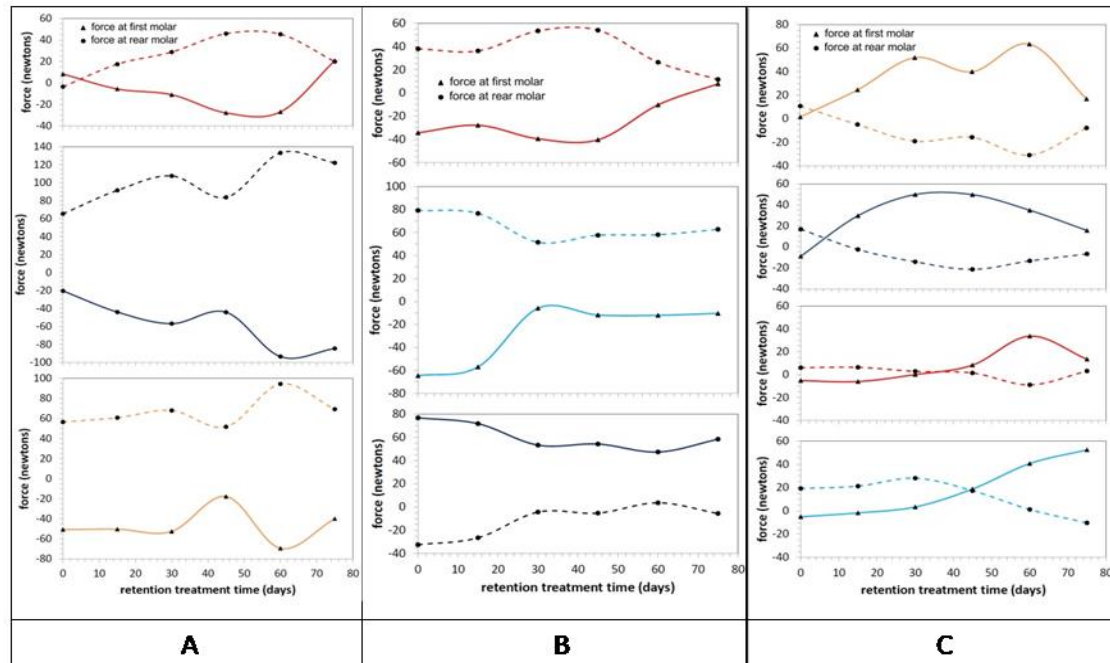


Figure 5.11. Representative curves showing force extinction and no force transference during retention treatment. Higher force is preferentially located at the posterior molar for this pattern on dolichocephalic pattern (A), no preference is observed for the location of the higher force between first molar and posterior molar on mesocephalic pattern (B) and higher force is located at temporary molar on brachycephalic pattern (C).

While Sun et al. demonstrated with the use of strain gauges that, even if residual strain exists in the circumaxillary sutures, disarticulation does not occur (Sun et al 2011), Wang et al. and Leonardo et al. succeeded in suture separation, demonstrating that circumaxillary disarticulation is greater when the expander appliance is nearer (Wang et al. 2009, Leonardi et al 2011). Boryor et al., with their ex vivo study of an adult skull, assures it takes relatively light force (90 Newtons) to disarticulate the jaws (Boryor et al. 2010). Although this cannot extrapolate to a young patient with mixed dentition, it suggests that the force required to perform a disarticulation has to vary among individuals. The estimated forces found in our system are based on the facial biotype and exceed said amount in the retention phase significantly in the anterior arm of brachycephalic and mesocephalic patterns and in the posterior arm of dolichocephalic patterns. Considering the fact that this force produces residual

tension beyond the 75 days' retention, one can ask himself whether the excess accumulated residual strain to which the individual is exposed for prolonged periods of time is necessary. This is when one should consider if it is convenient to accumulate so much residual strain or if it would be better to adapt the range of activations depending on the strain dissipation so that the force is not more than necessary. FEA of the RME appliance allows for the disposal of more relevant information (force on molars) than the information offered by center screw rotation, even if the hypothesis of two forces does not fully conform to reality. Therefore, the need to replace a treatment based on the activation of the screw for a treatment based on the force that can be generated in the molars would be questionable (since the same activation may result in different forces on the molars for different patients).

Validation has been carried out in this study in an age group which includes mixed dentition. However, FEM analysis as performed by Holberg, shows that age associated with bone elasticity is an important factor in the distribution of stress in deep skeletal structures of the viscerocranium and neurocranium (Holberg 2005). Therefore, future studies which validate the forces generated after RME in adolescents and adult patients are required.

6.3. Photobiomodulation.

6.3.1. Laser as an accelerator for bone remodeling (review bibliography).

The use of low level laser in the field of dentistry today is widely known thanks to the advantages it provides for disinfection, analgesia, surgery of soft and hard tissue and as a healing accelerator (Hedner 1994, Omura et al. 1992, Lizarelli et al. 1999). However, photobiomodulation specializing in orthodontics and orthopedics of the jaws is an area that today still struggles to get to the clinic. In recent years, there has been a growing interest in assessing the capacity that the laser can have in reducing the time it takes to move a tooth; that is, the ability to reorganize bone tissue (Yamaguchi et al. 2007, Limpanichkul et al. 2006, Cruz et al. 2004).

Therefore, the researchers, in order to better understand this aspect, have decided to conduct a literature review prior to the clinical trial. In the literature, there were few studies that commented on photobiomodulation in the maxillary midpalatal suture after conducting RME, so we chose another area in which reorganization of bone tissue occurs, bone remodeling in tooth movement, a process with which the orthodontist feels very familiar.

The results of this review show that there is a difference of opinion as to the benefits of LLLT. The evaluations were based on studies using rats and humans to try to define a course of action or protocol, as a variety of study

designs and parameters are reported. Researchers have based their hypotheses on the findings of cell components that occur during orthodontic tooth movement in animal studies and the calculation of the distance in human studies. It is acknowledged that laser wavelength, total delivered energy, frequency and dose, and the optical properties of the irradiated tissues, are all directly related to cell response to laser therapy (Takeda 1988).

All of the studies used a CW diode laser, except for the one by Duan et al., which used a CW as well as a pulsed laser (Duan et al 2012). However, there were no significant differences found between both applications. Currently, most commercially available lasers are characterized by a wavelength located in the near infrared band (790–1064 nm)—very versatile—although most studied lasers are those that emit the visible red spectrum (635 at 685 nm). They are used because infrared laser irradiation has a low absorption coefficient in hemoglobin and water, and consequently, a higher penetration depth in the irradiated soft tissues than visible radiation (Youssef et al. 2008). Wavelengths used in these studies were between 780 and 860 nm and there is no direct relationship between the wavelength type and the irradiation benefit.

The higher the output power, the less time it takes to obtain the energy required; however, too much power or too much power density may be unsuccessful or achieve negative results, as has been shown in other applications of LLLT (Huang et al. 2011). In the literature review, the output power varied from 20 to 180 mW. Approximately 50% of the diode laser beam (60 mW) penetrates to a depth of 1.0 mm in human and bovine mandibular cortical bone.²⁷ Therefore, most of the studies used 100 mW power and the probe tip was in contact with the gingiva so as not to reflect the laser light. However, other studies with lower output power and similar other parameters have verified their hypotheses (Cruz et al. 2004, Sousa et al. 2011, Duan et al. 2012, Marquezan et al. 2010, Habib et al. 2012).

The irradiation has an accumulative effect that means that part of the administered dose may accumulate in the next irradiation. Therefore, researchers should be cautious not to exceed the biostimulating dose range or reach the inhibition range. An example of biostimulation and inhibitory effect is found in the study of Marquezan et al. that revealed on day 2 of tooth movement that the number of osteoclasts in comparison tended to increase with the negative number in the control group (no orthodontic movement) ($p < 0.05$) (Marquezan et al. 2010). During this period, the quantity of osteoclasts in the laser-irradiated group (day 2) was similar to the quantity in the unirradiated group (day 2). On day 7, the number of osteoclasts tended to decrease ($p < 0.05$), except when LLLT was applied daily (day 7). Therefore, on day 2, there were no statistically significant differences from the other articles (Hadjiargyrou et al. 1998, Ozawa et al. 1998) but on day 7, when irradiation was used every 24 h, they noticed an increase in osteoclast production. When Marquezan et al. wanted to evaluate the expression of immature collagen on the tension side,

they found that after day 7, laser applications inhibited the expression effect (Marquezan et al. 2010). Therefore, Abergel et al. demonstrated that small doses with appropriate periods of time in between were more effective than treatments that were very close on fibroblast cultures (Abergel et al. 1984). Habib et al. found increased amounts of collagen matrix on the pressure side and tension side in irradiated subjects at days 13 and 19 when compared with unirradiated animals using longer irradiation intervals. The right combination of parameters can achieve the desired biological target (Habib et al 2012). For example, Hawkins and Abrahmase presented results suggesting that the cumulative effect of lower doses (2.5 or 5 J/cm²) determined the stimulatory effect, whereas multiple exposures at higher doses (16 J/cm²) resulted in an inhibitory effect with more damage (Hawkins y Abrahmase 2006). Perhaps in canine distalization treatments, the appropriate course is applying frequent irradiations is for 2 weeks, followed by weekly irradiation for the rest of the treatment. Limpanichkul et al. used higher doses of laser (25 J/cm²/2.3 J per point/18.4 J per tooth) and this dose might have no effect on the speed of tooth movement in humans (Limpanichkul et al 2006). According to Goulart et al., higher doses of LLLT could present inhibitory effects on tooth movement (Goulart 2006). The irradiations were performed after activating the coil, and the intervals varied according to the study: it was performed every 48 h by Limpanichkul et al.; at 3 and 7 days by Sousa et al. and Youssef et al.; and at 3, 7, and 14 days by Cruz et al. (Limpanichkul et al. 2006, Sousa et al. 2011, Youssef et al. 2008, Cruz et al. 2004). These studies agree that irradiation intervals should be long; they agree to distribute the total energy density to the highest possible number of points according to canine anatomy. Youssef et al. reported 6 points; 8 points were reported by Limpanichkul et al.; and Sousa et al., Cruz et al., and Doshi-Metha et al. reported 10 points (Limpanichkul et al. 2006, Sousa et al. 2011, Cruz et al. 2004, Doshi-Metha y Bhad-Patil 2012).

The studies performed clinical (Hadjiargyrou et al. 1998, Cruz et al. 2004, Yamaguchi et al. 2007) or radiographic measurements (computed microtomography) (Ozawa et al 1998) or on animal models (Youssef et al. 2008, Limpanichkul et al 2006, Yamaguchi et al. 2007, Fujita et al. 2008, Kawasaki y Shimizu 2000, Yamaguchi et al. 2010). In clinical and model measurements, the coronal reference points were used as a reference, with the laser benefit being positive or negative. It should be noted that the measured distance is affected by the inclination of the teeth. However, in the study by Yoshida et al., distances were measured in the apical zone, closer to the center of resistance, thus enhancing the viability of their measurements (Yoshida et al. 2009).

Finally, in human studies, we should be cautious when evaluating the measurements, because of the systemic effects of phototherapy (Huang et al 2011). In human studies, the contralateral canines were used as a control, and it is uncertain if the applied dose may have had an effect on that area. Patients were their own controls in order to reduce the variability and allow a smaller number of patients in the sample. (Limpanichkul et al. 2006, Abi-Ramia et al.

2010). However, said decision limits the reliability and accuracy of their conclusions. Therefore, a larger number of subjects should be included in each group and, especially, the systemic effect that can be produced with localized irradiation should be avoided.

A recent review by Long et al. suggests that LLLT, electrical current, and pulsed electromagnetic fields are safe, but have not proven to be effective to accelerate orthodontic tooth movement, whereas corticotomy is reported as able to, and other interventions, such as dentoalveolar or periodontal distraction, are considered promising in accelerating tooth movement (Long et al. 2013). However, our results show that LLLT is effective in reducing the time for orthodontic treatment, both in humans and in animal experiments.

6.3.2. Effects on the maxillary suture.

In this study, the characteristics of the maxillary suture margins and the distance between them after REM and at 75 days from the retention phase were evaluated. The radiologists found statistically significant differences in the S.S. of the midpalatal suture when comparison was made between the irradiated patients and placebo group. Several studies demonstrate that local LLLT applied after RME has a stimulatory effect on proliferation and differentiation in rat osteoblastic cells derived from the palatal suture (Altan et al. 2015) and a significant increase in bone density (Angeletti et al. 2010, Petrick et al. 2011). After rupture of the midpalatal suture, bone formation, resorption and fiber rearrangement continue until the architectural environment achieves equilibrium (Kara et al. 2012). It is acknowledged that laser wavelength, total delivered energy, frequency, dose and the optical properties of the irradiated tissues are all directly related to cell response to laser therapy (12). 660 nm light promotes mitochondrial enzyme activity including, upregulation of genes involved in cell metabolism and oxidative phosphorylation. Subsequently oxidative stress decreased and ATP production is increased which drives other metabolic processes involved in tissue repair (Hourel et al. 2012, Masha et al. 2013).

The higher the average radiant power is, the less time there is needed to obtain the required energy. Cepera et al. and Santiago et al. applied laser from the beginning of expansion and during the start of the retention phase, a total of 11 and 20 sessions, respectively (Cepera et al. 2012, Santiago et al. 2012), arguing that studies show that LLLT may increase osteoclastic activity and promote the opening of the suture (Sasaki et al. 2003). However, we did not see the need to apply laser in the active phase of expansion because the age of the subjects was younger and we did not believe that it was convenient to irradiate the patients for this purpose, so we irradiated 7 times during the retention phase (75 days), like Angeletti et al, who irradiated 8 times during a retention phase of 39 days (Angeletti et al. 2010). Because the orthopedic suture separation is

greater in the front area in response to a triangular-shaped pattern where the base is wider at the front portion of the jaw (Hawkins et al. 2006), and therefore the area with the greatest bone defect, we decided to irradiate this zone more intensely. 12 J was administered via vestibular (apical third) and 12 J via palatine of the IS, the data being similar to the values of Angeletti et al. (25.2 J) (Angeletti et al. 2010). LLLT was applied in contact with the mucosa to reduce the light being reflected and to ensure arrival to the target, as the penetration power of red visible light lasers (630-700 nm) is between 0.5-1 cm.

Occlusal radiographies are an adequate tool to evaluate the opening of the midpalatal (Davidovitch et al. 2005, Cepera et al. 2012); however, with this technique, irradiation goes through anatomic structures like the vomer and the external part of the nose before arriving to the midpalatal suture and an incorrect radiological interpretation of the real morphologic findings can be possible (Wehrbein & Yildizhan 2001). Hence, the analyzed region of interest (ROI) represents the accumulation of different types of tissue and it would be difficult to say that a change in the bone density of the ROI exists as a consequence of LLLT being applied. In a Multislice computed tomography (CT) superposition of tissues can be avoided and the density is stable in the form of a Hounsfield Unit (HU), but the radiation dose is higher and the radiation of the children of this study would not be justified. CBCT can select any ROI of the area to study and the radiation dose in this method is minimal, but there is controversy regarding the reliability of its density values. Several studies claim that there is a strong relationship between the CBCT-Voxel values and the HU in Multislice CT (Chang et al. 2012, Lagravère et al. 2008) while Eskandarloo et al. demonstrate that the density values are variable and are not real because they are affected by the position of the object in the machine (Eskandarloo et al. 2012) and there can be no assurance that irradiation and the tomography state are the same in all exposures. In fact, CBCT has the potential to evaluate bone quality, while density measurement does not seem to be valid (Hua et al 2013). This was the reason why it was decided to perform a qualitative interpretation, leaving the quantitative and objective analysis to the measurement of the distance between the margins of the suture.

A review by Bazargani et al. concludes that a great difference or disparity exists when analyzing the expansion achieved (Bazargani et al. 2013). The reviewed studies had different endpoints and slightly different reference points when measuring the midpalatal suture opening, which makes comparisons difficult (Leonardi et al. 2011, Lione et al. 2008, Weissheimer et al. 2011, Ballanti et al. 2010, Podesser et al. 2007, Christie et al 2010). Our data coincides with the average of this review, with the mean of the expansion changes in the midpalatal suture in the anterior region ranging from 1.52 to 4.33 mm and in the posterior region ranging from 1.6 to 4.33 mm. However, in the anterior area, the values found in this study are higher than the average (4.7885 mm DS 1.18), and this is because in the studies of the review a single slice which covers both the anterior and posterior regions of the suture is

analyzed. While we analyzed a more inferior axial slice and, therefore, a greater separation, in most studies performed with CBCT or Multislice CT, only information about a single slice is provided (Lione et al. 2008, Weissheimer et al. 2011, Ballanti et al. 2010). But despite having a tridimensional tool, this tool is limited to providing information on only one axial slice. Nevertheless, in this study it can be affirmed with the four reference points that the opening pattern is greater from the anterior area to the posterior area and from the most cranial area to the caudal area.

Once the margins of the suture are separated, they reorganize themselves again. A retention period of three to six months is recommended to prevent a relapse for immature newly formed bone. De Melo et al. found, using x-ray images, that in the anterior area of the suture at three months of retention, the final overall average was around 90% of the initial value obtained (de Melo et al. 2013). Axial slices obtained via Multislice CT had demonstrated quantitatively that there was a recovery of the midpalatal suture at six months of retention, demonstrating that there was a significant increase to post-treatment values in density although it did not achieve pre-treatment values (Lione et al. 2008, Schauseil et al. 2014).

However, most studies are done with 2D radiographs or they use a single slice of all those available on a scanner. As has been mentioned, this trial does not justify the use of a CT Multislice and therefore we have chosen to use a CBCT. The qualitative analysis of all bone margins of the maxillary suture performed by radiologist at 75 days coincides with the previous studies which mention a higher level of reorganization, although there are not significant differences between the groups.

The qualitative analysis of CBCT-2 suggests that there is a reorganization with significant differences between both groups. It was concluded that in the placebo group there was an approximation of the suture margins for 95% of the AIS and for 37% of the PIS, 68% of the SAS, 26% of the PSS, 68% of continuity of the nasopalatine duct and an approximation of the ANS of 53%. In other words, the approximation of the suture margins is greater in the anterior area than in the posterior area, in accordance with other studies performed in mixed dentition (Arat et al. 2003, Sandikçioğlu y Hazar 1997). Nevertheless, research studies conducted in adults subject to surgical assisted rapid maxillary expansion (SARME) argue the opposite (Sannomiya et al. 2012, Garret et al. 2008, Lione et al. 2008). In addition, it appears that approximation is obtained earlier the lower the suture is assessed. LLLT increases the approximation significantly on the irradiated group (85%, 45%, 100%, 80%, 90% and 65% respectively) (Figure 6.2).

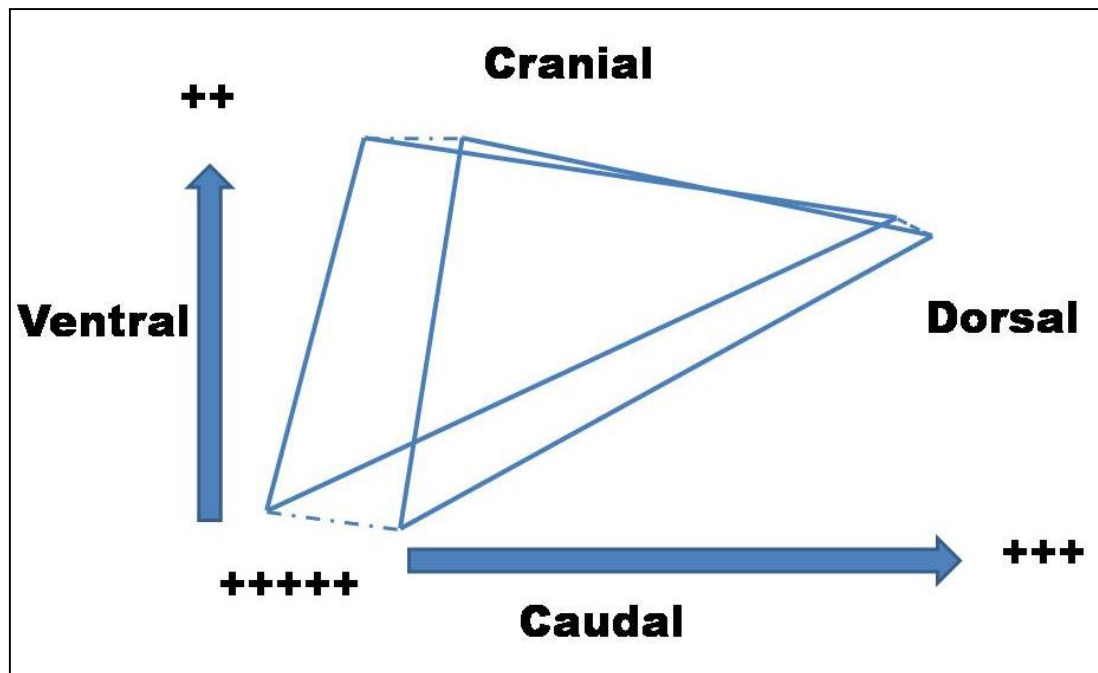


Figure 6.2 Scheme of the opening pattern in three dimensions and the direction in which the tissue begins to reorganize according to the values obtained on day 75 of fixed retention.

These findings coincide with studies which believe that the laser accelerates bone regeneration (Cepera et al. 2012, Aras et al. 2015, Santiago et al. 2012). These studies reveal that, even on day 90, reorganization of the suture was complete. The statistically significant data found throughout the SS encourages the use of LLLT as a tool in the daily practice of orthodontics. Currently, periodic multi-cut CT series are not justified to understand how LLLT can help with the reorganization of the mid-palatal suture in humans. CBCT, despite having minimal radiation, provides questionable density values. In the future, an improvement of these scanners will allow for more continuous monitoring in order to assess the stage of reorganization in which LLLT irradiation can be the most helpful.

6.4. Relationship between Accumulated Strain – Laser Irradiation – Maximum Anterior Distance.

The descriptive analysis indicates that strain relapse begins earlier in the posterior area –this being at T5 for the irradiated group and at T6 for the placebo group– than in the anterior area, where there is only strain relapse in the irradiated group at T6. Although the start of dissipation was earlier in arm B, relapse occurred with the same percentage for both groups (70%). However, the anterior area is where the greatest difference in percentage exists, as 45% of the patients began with a decrease in strain at T6. In addition,

the amounts are considerable for the irradiated patients ($>500 \mu\text{S}$ – arm A and $>300 \mu\text{S}$ – arm B) when compared with the small amount, though significant, that is produced on arm B of the placebo patients ($<35 \mu\text{S}$). Even in the anterior area, we found a statistically significant relationship, with the dissipated strain being higher in the study's irradiated group. It was decided to irradiate more the anterior area of the suture for several reasons. One of them was the benefits found by Amini et al. and Aras et al. through in-vitro studies which suggest that irradiation with low-level laser can increase and accelerate bone regeneration in the mid-palatal suture after orthopedic expansion (Amini et al. 2015, Aras et al. 2015). That is to say, histological studies reveal that there could be an increase in bone reorganization through osteogenesis. Another reason was because the opening pattern is greater in the anterior area (Krebs 1960) and, without having the strain data which confirmed to us –after the fact– the accumulated strain pattern in the anterior area for the brachycephalic and mesocephalic groups, it was decided to irradiate said area. In fact, in practically all 5 points to be irradiated (12 J per point), irradiation was carried out anterior to arm A (sagittal plane). The limitations presented by the current literature are, on the one hand, because studies are conducted on animals with anatomic conditions which are different from humans and, on the other, because they are limited to studying short periods of time (periods which do not exceed 30 days of retention). Obviously, it is true that, theoretically, if the reorganization of the suture is accelerated, relapse –in theory– should be avoided. Nonetheless, these are theories formulated by authors.

Thus, if the theory that higher bone reinforcement may require less accumulated strain is taken into account, it could be considered positive that the irradiated patients have higher strain dissipation in the anterior arm than the placebo patients, as a statistically significant difference was found in this study.

In this study, the deformation existing in the arms of the expander was studied after RME. It has been demonstrated that the OS are the mechanosensors of the bone and that the canalicular-lacunar porosity is responsible for mediating mechanosensibility (Klein-Nuleng et al. 2005). The OS is in charge of transforming mechanical signals into cellular signals and, in this way, modulating the activity of the OB and OC cells; that is to say, it acts on the bone remodeling/regenerating which is being evaluated by this study. Therefore, the transmission of load (by deformation of the structures of the expander) to the bone sutures which are involved plays an important role (Weinbaum et al. 1994). This fact makes one think that there are several factors involved in bone remodeling/regenerating of the maxillary suture. On the one hand, there is the load factor promoted by deformation of the expander and, on the other hand, the importance of the OS on bone regeneration. The bibliography mentioned previously demonstrates the ability that the laser has to photobiomodulate the cells involved with bone activity in cells derived from the mid-palatal suture (Bernardes da Silva et al. 2011) and it coincides with the

results of this study, as the irradiated patients are those who had greater reorganization of the suture.

Nevertheless, as expressed on graph of table 5.16, the relationship found between the accumulated strain and the suture distance is not linear in nature. The orthodontist may believe that the more separation there is between the sutures, the more strain there should be. In fact, as has been previously commented, the greater the expansion, the greater the strain (Brosh et al. 1998, Sun et al. 2011, Zimring and Isaacson 1965). Nevertheless, our results demonstrate that said relationship does not exist as patients with little separation, or 0 mm of separation, still have a lot of accumulated strain and vice versa – patients with a lot of separation between their sutures have dissipated a lot of strain. That is to say, it has been observed in our patients that, at higher activation (and supposedly higher separation of margins) strain increases, but a clear relationship has not been observed between the patients' distances and the strains as it could be that greater separation causes greater values of accumulated strain. Therefore, for these patients specifically, and without extrapolating our results to the general population, the distance factor is not a variable which directly affects the accumulation or dissipation of strain.

The deformation (tension/compression) generated along the bone suture and in the arms of the expander, and how this acts on cells, reveals unknowns that future studies should investigate.

CAPÍTULO 7

Conclusiones

7.1. Estudio de la tensión y su relación con el patron de crecimiento y el láser	243
7.1.1. Comportamiento de la tensión	243
7.1.2. Absorción de la tensión	243
7.1.3. Efecto del láser sobre la tensión	243
7.2. Estudio de la Fuerza predicha que sufren los disyuntores de los pacientes estudio	243
7.2.1. Comportamiento de la Fuerza	243
7.3. Conclusiones de la revisión bibliográfica	244
7.3.1. Diversidad de protocolos	244
7.4. Estudio radiográfico de la sutura maxilar	244
7.4.1. Patrón de apertura y dirección de reorganización ósea	244
7.4.2. Efectos del láser	244

Capítulo 7

Conclusiones

7.1. Estudio de la tensión y su relación con el patrón de crecimiento y el laser

7.1.1. Comportamiento de la tensión.

- La tensión acumulada en el disyuntor tras una expansión rápida del maxilar es mayor en los brazos posteriores del disyuntor al final de la fase de expansión para los tres biotipos faciales.
- Al final de la fase de retención la mayor tensión acumulada se desplaza al brazo anterior para los grupos braquicefálico y mesocefálico, mientras que esta mayor tensión permanece en la zona posterior para el grupo de pacientes dolicocefálico.

7.1.2. Absorción de la tensión.

- Una mayor separación entre los maxilares en la zona anterior y la ausencia de tejido óseo y por lo tanto menos contacto sutural puede causar una mayor acumulación de tensión. Así mismo, en la zona posterior de pacientes dolicocefálicos la tensión no se absorbe o disipa.

7.1.3. Efecto del láser sobre la tensión.

- La irradiación con luz láser en la zona anterior de la sutura maxilar puede favorecer una mayor disipación de tensión.

7.2. Estudio de la Fuerza predicha que sufren los disyuntores de los pacientes estudio.

7.2.1. Comportamiento de la Fuerza.

- Al final de la fase de retención, la resistencia a la expansión del cráneo debería disminuir en 62,5% en la zona anterior y un 80% en la zona posterior.
- La fuerza (F1) ejercida en la zona anterior estresa más zona anterior que la posterior, mientras que la fuerza F2 ejercida en la

- zona posterior del disyuntor produce una similar tensión en ambos brazos.
- La Fuerza se disipa más en la zona anterior en patrones verticales mientras que en los patrones horizontales es mayor en la zona anterior.
- La fuerza predicha para ciertos pacientes del estudio durante la fase de retención fue muy elevada, indicando la posibilidad de causar daños en los tejidos afectados debido a la ERM

7.3. Conclusiones de la revisión bibliográfica.

7.3.1. Diversidad de protocolos.

- Autores con diferentes longitudes de onda pero con una dosis razonable en la zona diana pueden obtener el efecto biológico deseado, obteniendo una reducción en el tiempo de tratamiento, aunque otros autores no han encontrado ningún tipo de beneficio.
- Queda por determinar la dosis límite que produce efectos de bioestimulación, efectos de bioinhibición o los que no causan efectos, con lo cual se concluye que son necesarios más estudios para unificar criterios.

7.4. Estudio radiográfico de la sutura maxilar.

7.4.1. Patrón de apertura y dirección de reorganización ósea.

- El patrón de apertura tras una ERM es mayor caudalmente y va disminuyendo en sentido craneal. A su vez es mayor cuanto más ventral se analiza. El patrón de reorganización seguiría el mismo sentido, es decir, la zona anterior se reorganiza antes que la zona posterior y la zona inferior antes que la zona superior.

7.4.2. Efectos del láser.

- A los 75 días de retención fija, la sutura maxilar mediopalatina presenta diferentes niveles de reorganización dependiendo del área analizada. LLLT parece que puede estimular el proceso de reparación durante la fase de retención tras una ERM.

Referencias bibliográficas

- Abergel RP, Meeker CA, Lam TS, Dwyer RM, Lesavoy MA, Uitto J. Control of connective tissue metabolism by lasers: recent developments and future prospects. *J Am Acad Dermatol* 1984;11:1142-50.
- Abi-Ramia LB, Stuani AS, Stuani AS, Stuani MB, Mendes AM. Effects of low-level laser therapy and orthodontic tooth movement on dental pulps in rats. *Angle Orthod* 2010;80, 116-22.
- Abramovich A. Embriología de la Región Maxilofacial. 3ª Edición. Barcelona: Ed. Médica Panamericana; 1999.
- Adkins MD, Nanda RS, Currier GF. Arch perimeter changes on rapid palatal expansion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1990; 97:194-9.
- Airoidi G, Riva G, Vanelli M, Filippi V, Garattini G. Oral environment temperature changes induced by cold/hot liquid intake. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1997; 112: 58-63.
- Alarcón JA, Martí C, Palma JC, Menéndez-Núñez M. Activity of jaw muscles in unilateral cross-bite without mandibular shift. *Arch Oral Biol* 2009; 54: 108-14.
- Alió JJ, Álvarez MC. Estudio epidemiológico de las maloclusiones y su relación con la clase social en una muestra de población española. *Av Odontoestomatol* 1999; 15: 105-30.
- Altan AB, Bicakci AA, Avunduk MC, Esen H. The effect of dosage on the efficiency of LLLT in new bone formation at the expanded suture in rats. *Lasers Med Sci* 2015; 30: 255-62.
- Altorkat Y, Khambay BS, McDonald JP, Cross DL, Brocklebank LM, Ju X. Immediate effects of rapid maxillary expansion on the naso-maxillary facial soft tissue using 3D stereophotogrammetry. *Surgeon* 2014; 16.pii: S1479-666X(14)00053-5.
- Amini F, Najaf Abadi MP, Mollaei M. Evaluating the effects of laser irradiation on bone regeneration in midpalatal suture concurrent to rapid palatal expansion in rats. *J Orthod Sci* 2015; 4: 65-71.
- Amorim JCF, Ribeiro MS, Groth EB. Gingival healing after gingivectomy procedure and low intensity laser irradiation. A clinical and biometrical study in *anima nobile*. *Laser Surg Med. Supplement* 2002; 14: 20.
- Anders JJ, Borke RC, Woolery SK, Merwe WP. Low power laser irradiation alters the rate of regeneration of the rat facial nerve. *Lasers Surg Med* 1993; 13: 72-82.
- Angeletti P, Gomes HC, Ferreira LM. Effect of low-level laser therapy (GaAlAs) on bone regeneration in midpalatal anterior suture after surgically assisted rapid maxillary expansion. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2010; 109: 38-46.
- Angelieri F, Cevidanes LH, Franchi L, Gonçalves JR, Benavides E, McNamara JA Jr. Midpalatal suture maturation: classification method for individual assessment before rapid maxillary expansion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2013; 144: 759-69.
- Angell EH. Treatment of irregularities of the permanent adult teeth. *Dental Cosmos* 1860; 1: 540-4.
- Aras MH, Erkilic S, Demir T, Demirkol M, Kaplan DS, Yolcu U. Effects of low-level laser therapy on osteoblastic bone formation and relapse in an experimental rapid maxillary expansion model. *Niger J Clin Pract* 2015; 18: 607-11.
- Arat ZM, Gökalp H, Atasever T, Türkkahraman H. ^{99m}Tc-methylene diphosphonate uptake in maxillary bone during and after rapid maxillary expansion. *Angle Orthod* 2003;73:545-9.
- Araugio RM, Landre JJr, Silva DdeL, Pacheco W, Python MM, Oliveira DD. Influence of the expansion screw height on the dental effects of the hyrax expander: a study with finite elements. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2013; 143: 221-7.
- Arbolea L, Castañeda S. Osteoinmunología: el estudio de la relación entre el sistema inmune y el tejido óseo. *Reumatol Clin* 2013; 9: 303-15.
- Atkinson DE. Cellular Energy Metabolism and its Regulation. New York, NY: Academic Press 1977 : 4; 85-107.

Baca A, Baca P, Carreño J. Valoración de las necesidades de tratamiento ortodóncico en una muestra de 517 escolares de Albuñol (Granada). *Rev Esp Ort* 1989; 19: 147-57.

Baek WY, Kim JE. Transcriptional regulation of bone formation. *Front Biosci* 2011; 3: 126-35.

Bailleul AM, Nyssen-Behets C, Lengelé B, Hall BK, Horner JR. Chondroid bone in dinosaur embryos and nestlings (Ornithischia: Hadrosauridae): Insights into the growth of the skull and the evolution of skeletal tissues. *C R Palevol* 2015; 10: 8-14.

Baldawa RS, Bhad WA. Stress distribution analysis during an intermaxillary dysjunction: A 3-D FEM study of an adult human skull. *Ann Maxillofac Surg* 2011; 1: 19-25.

Ballanti F, Lione R, Franchi L, Baccetti T, Cozza P. Treatment and posttreatment skeletal effects of rapid maxillary expansion investigated with low-dose computed tomography in growing subjects. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2010; 138: 311-317.

Barboza CA, Ginani F, Soares DM, Henriques AC, Freitas R de A. Low-level laser irradiation induces in vitro proliferation of mesenchymal stem cells. *Einstein (Sao Paulo)* 2014; 12: 75-81.

Baron R. Anatomy and Ultrastructure of Bone – Histogenesis, Growth and Remodeling. En: De Groot LJ, Beck-Peccoz P, Chrousos G, Dungan K, Grossman A, Hershman JM, Koch C, McLachlan R, New M, Rebar R, Singer F, Vinik A, Weickert MO, Endotext [Internet]. South Dartmouth (MA): MDText.com, Inc; 2000-2008.

Batra N, Kar R, Jiang JX. Gap junctions and hemichannels in signal transmission, function and development of bone. *Biochim Biophys Acta* 2012; 1818: 1909-18.

Bazargani F, Feldman I, Bondemark L. Three-dimensional analysis of effects of rapid maxillary expansion on facial sutures and bones. *Angle Orthod* 2013; 83: 1074-82.

Becht MP, Mah J, Martin C, Razmus T, Gunel E, Ngan P. Evaluation of masseter muscle morphology in different types of malocclusions using cone beam computed tomography. *Int Orthod* 2014; 12: 32-48.

Belkin M, Schwartz M. New biological phenomena associated with laser radiation. *Health Phys* 1986; 56: 687-90.

Bernardes da Silva AP, Petri AD, Crippa GE, Stuani AS, Stuani AS, Rosa AL, S MBS. Effect of low-level laser therapy after rapid maxillary expansion on proliferation and differentiation of osteoblastic cells. *Laser Med Sci* 2012; 27: 777-83.

Bishara SE, Staley RN. Maxillary expansion: clinical implications. *Am J Orthod Orthop* 1987; 91: 3-14.

Björk, A. Facial growth in man, studied with the aid of metallic implants. *Acta Odontol Scand* 1955; 13: 9-34.

Bogomil'skiĭ MR, Fitenko LN, D'iakonova IN, Tikhomirov AM, Minasian VS. Effects of low-energy laser irradiation on the functional state of the acoustic analyzer (experimental study). *Vestn Otorinolaringol* 1989; 29-34.

Boryor A, Hohmann A, Wunderlich A, Geiger M, Kilic F, Sander M, Sander C, Böckers T, Sander FG. In-vitro results of rapid maxillary expansion on adults compared with finite element simulations. *J Biomech* 2010; 43: 1237-42.

Bouserhal J, Bassil-Nassif N, Tauk A, Will L, Limme M. Three-dimensional changes of the naso-maxillary complex following rapid maxillary expansion. *Angle Orthod* 2014; 84: 88-95.

Bradley PF, Reblini Z. Low intensity laser therapy (LILT) for temporomandibular joint pain: a clinical electromyographic and thermographic study. *Laser Therapy* 1996; 8: 47-53

Bravo LA, Barrachina C, Bravo B. Evaluación epidemiológica de la maloclusión en 1000 pacientes ortodóncicos de diferentes regiones españolas. *Rev Esp Ort* 1987; 17: 219-40.

Brosh T, Vardimon AD, Ergatudes C, Spiegler A, Lieberman M. Rapid palatal expansion. Part 3: Strains developed during active and retention phases. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1998; 114: 123-33.

Brown AA, Scarfe WC, Scheetz JP, Si Ivei ra AM, Farman AG. Linear Accuracy of Cone Beam CT Derived 3D Images. *Angle Orthod*. 2009; 79: 150-7.

Brugnera A. LLLT in treating dentinary hypersensitivity: A histological study and clinical application. *proc. 20nd ENSOMA Congress, Houston, Texas, USA. 2001, p. 23-31.*

Camporesi M, Franchi L, Doldo T, Defraia E. Evaluation of mechanical properties of three different screws for rapid maxillary expansion. *BioMed Eng OnLine* 2013; 12: 128.

Camps D, Sánchez M, Ustrell JM. Conceptos básicos de ortodoncia (II). Indicaciones del tratamiento de la maloclusión dental FMC 2001; 8: 15-23.

Canut JA, Vila F. Distribución de maloclusiones en pacientes ortodóncicos. *Rev Esp Ort* 1975; 5: 85-92.

Carnicero A. Introducción al Métodos Finitos [monografía en Internet]* Ed.1. Comillas:*; 2001 [acceso 12 de marzo de 2014]. Disponible en: http://www.profesores.frc.utn.edu.ar/industrial/sistemasinteligentes/FFlexible/Introducción_al_MEF.pdf

Carol-Murillo J, Álvarez MT. Epidemiología de las maloclusiones en la población escolar de Barcelona. *Ortodoncia Española* 1987; 28: 17-26.

Celigüeta Lizarza JT. Método de los Elementos Finitos para Análisis Estructura. 4ª ed. San Sebastian: Unicopia C.B., 2011. 287 p. ISBN : 84-921970-2-1.

Cepera F, Torres FC, Scanavini MA, Paranhos LR, Capelozza FL, Cardoso MA, Siqueira DC, Siqueira DF. Effect of a low-level laser on bone regeneration after rapid maxillary expansion. *Am J OrthodDentofacial Orthop* 2012; 141: 444-50.

Clarke, B. Normal bone anatomy and physiology. *Clin J Am Soc Nephrol* 2008; 3: 131-9.

Coelho RC, Zerbini LP, de Oliveira MG, Weber JB. Systemic effects of LLLT on bone repair around PLLA-PGA screws in the rabbit tibia. *Lasers Med Sci* 2014; 29: 703-8.

Conlan MJ, Rapley JW, Cobb CM. Biostimulation of wound healing by low-energy laser irradiation. A review. *Journal of Clinical Periodontology* 1996; 23: 492-6.

Cruz DR, Kohara EK, Ribeiro MS, Wetter NU. Effects of low-intensity laser therapy on the orthodontic movement velocity of human teeth: a preliminary study. *Lasers Surg Med* 2004; 35: 117-20.

Custodio W, Gomes SG, Faot F, Garcia RC, Del BelCury AA. Occlusal force, electromyographic activity of masticatory muscles and mandibular flexure of subjects with different facial types. *J Appl Oral Sci* 2011; 19: 343-9.

Cuzmar E, Perez RA, Manzanares MC, Ginebra MP, Franch J. In vivo osteogenic potential of biomimetic hydroxyapatite/collagen microspheres: Comparison with injectable cement pastes. *PLoS One* 2015; 10: e 0121188

Chaconas SJ, Caputo AA. Observation of orthopedic force distribution produced by maxillary orthodontic appliances. *Am J Orthod* 1982; 82: 492-501.

Chan HJ, Woods M, Stella D. Mandibular muscle morphology in children with different vertical facial patterns: a 3-dimensional computed tomography study. *Am J OrthodDentofacialOrthop* 2008; 133: 1-13.

Chang HW, Huang HL, Yu JH, Hsu JT, Li YF, Wu YF. Effects of orthodontic tooth movement on alveolar bone density. *Clin Oral Investig* 2012; 16: 679-88.

Chen G, Deng C, Li YP. TGF- β and BMP signaling in osteoblast differentiation and bone formation. *Int J Biol Sci* 2012; 8: 272-88.

Chiego DJ. Principios de Histología y Embriología Bucal con orientación clínica. Amsterdam, Elsevier, 2014.

Christie KF, Boucher N, Chung CH. Effects of bonded rapid palatal expansion on the transverse dimensions of the maxilla: a cone-beam computed tomography study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2010; 137: S79-85.

Davidovitch M, Efstathiou S, Sarne O, Vardimon AD. Skeletal and dental response to rapid maxillary expansion with 2-versus 4-band appliances. *Am J Orthod Defontofac Orthop* 2005; 127: 483-92.

De Haro MD, Travesí J. Epidemiología de la maloclusión en una población escolar Andaluza. *Rev Ibero Am Ortod* 1994; 13: 85-91.

De Melo MB, Melo SL, Zanet TG, Fenyo-Pereira M. Digital radiographic evaluation of the midpalatal suture in patients submitted to rapid maxillary expansion. *Indian J Dent Res* 2013; 24: 76-80.

- Dhem A, Goret-Nicaise M, Dambrain R, Nyssen-Behets C, Lengelé B, Manzanares MC. Review. *Arch Ital Anat Embriol* 1989; 94:237-41.
- Di Ieva A, Bruner E, Davidson J, Pisano P, Haider T, Stone SS, Cusimano MD, Tschabitscher M, Grizzi F.. Cranial sutures: a multidisciplinary review. *Childs Nerv Syst* 2013; 29: 893-905.
- Dibbets J M H 1992 One century of Wolff's law. Bone biodynamics in orthodontic and orthopedic treatment. In: Carlson D S, Goldstein S A (eds) Bone biodynamics in orthodontic and orthopedic treatment. Monograph No. 27, Craniofacial Growth Series, Center for Human Growth and Development, University of Michigan, Ann Arbor, pp. 1-13.
- Don G, Lamparski Jr, Daniel J, Rinchuse, John M, Close, James J, Sciote. Comparison of skeletal and dental changes between 2-point and 4-point rapid palatal expanders, *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2003;123: 321-8.
- Doshi-Mehta G, Bhad-Patil WA. Efficacy of low-intensity laser therapy in reducing treatment time and orthodontic pain: a clinical investigation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2012; 141: 289-97.
- Duan J, Na Y, Liu Y, Zhang Y. Effects of the pulse frequency of low-level laser therapy on the tooth movement speed of rats molars. *Photomed Laser Surg* 2012; 30: 663-7.
- Durán J, Ustrell JM. Técnica MFS. Diagnóstico de la matriz funcional: codificación. *Ortod Clin* 2003; 6: 138-40.
- Eells JT, Wong-Riley MTT, Verhoeve J, Henry M, Buchman EV, Kane MP, Gould LJ, Das R, Jett M, Hodgson BD, Margolis D, Whelan HT. Mitochondrial signal transduction in accelerated wound and retinal healing by near-infrared light therapy. *Mitochondrion* 2004; 4: 559-7.
- Enwemeka CS, Parker JC, Dowdy DS, Harkness EE, Sanford LE, Woodruff LD.. The efficacy of low-power laser in tissue repair and pain control: a meta analysis of the literature. *Photomed Laser Surg* 2004; 22: 241-8.
- Eriksen EF. Normal and pathological remodeling of human trabecular bone: three dimensional reconstruction of the remodeling sequence in normals and in metabolic bone disease. *Endocr Rev* 1986; 7: 379-408.
- Ernst CP, Canbek K, Euler Th, Willershausen B. In vivo validation of the historical in vitro thermocycling temperature range for dental materials testing. *Clin Oral Invest* 2004; 8: 130-8.
- Eskandarloo A, Abdinian M, Salemi F, Hashemzadeh Z, Safaei M. Effect of object location on the density measurement in cone-beam computed tomography versus multislice computed tomography. *Dent Res J* 2012; 9:S81-S87.
- Everts V, Delaissé JM, Korper W, Jansen DC, Tigchelaar-Gutter W, Saftig P, Beertsen W. The bone lining cell: its role in cleaning Howship's lacunae and initiating bone formation. *J Bone Miner Res* 2002; 17: 77-90.
- Farkas LG, Posnick JC, Hreczko TM. Growth patterns of the face: a morphometric study. *Cleft Palate Craniofac J* 1992; 29: 308-15.
- Feng X, McDonald JM. Disorders of bone remodeling. *Annu Rev Pathol* 2011; 6: 121-45.
- Fernández-Tresguerres-Hernández-Gil, Alobera-Gracia MA, del-Canto-Pingarrón M, Blanco-Jerez L. Physiological bases bone regeneration II. The remodeling process. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal* 2006; 11: 151-7.
- Ferreira ANS, Silveira Lb, Genovese WJ, Cavalcante de Araujo V, Frigo L et al. Effect of Ga AIAS Laser on Reactional Dentinogenesis Induction in Human Teeth. *Photomed Laser Surg* 2006; 24: 358-65.
- Filho W, Nogueira T et al. effects of irradiation with a HeNe laser on the healing of the hard tissue. *Surgical and Medical Lasers* 1989; 23: 71-2.
- Franch J, Garcia F, Camon J, Manzanares MC. Backscattered electron imaging of the calcified tissues present in bone healing. *Vet Comp Orthop Traumatol* 1998; 11: 6-12.
- Fujita S, Yamaguchi M, Utsunomiya T, Yamamoto H, Kasai K. Low-energy laser stimulates tooth movement velocity via expression of RANK and RANKL. *Orthod Craniofac Res* 2008; 11, 143-155.
- Gama SK, Habib FA, Monteiro JS, Paraguassú GM, Araújo TM, Cangussú MC, Pinheiro AL. Tooth movement after infrared laser phototherapy: clinical study in rodents. *Photomed Laser Surg* 2010; 28: 79-83.

García VJ, Ustrell JM, Sentís J. Evaluación de la maloclusión, alteraciones funcionales y hábitos orales en una población escolar: Tarragona y Barcelona. *Av Odontoestomatol* 2012; 27: 75-84.

Garrett BJ, Caruso JM, Rungcharassaeng K, Farrage JR, Kim JS, Taylor GD. Skeletal effects to the maxilla after rapid maxillary expansion assessed with cone-beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2008; 134: 8-9.

Gautam P, Valiathan A, Adhikari R. Am Stress and displacement patterns in the craniofacial skeleton with rapid maxillary expansion: a finite element method study. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 2007; 132: 5e1-11.

Ginbach G. Laser biostimulation in plastic surgery. *Laser Ther* 1993; 5: 169-75.

Godoy BM, Arana-Chavez VE, Nunez SC, Ribeiro MS. Effects of low-power red laser on dentine-plp interface after cavity preparation. An ultrastructural study. *Arch Oral Biol* 2007; 52: 899-903.

Goret-Nicaise M, Manzanares MC, Bulpa P, Nolmans E, Dhém A. Calcified tissues involved in the ontogenesis of the human cranial vault. *Anat Embryol* 1988; 178: 399-406.

Goret-Nicaise, M. La Croissance de la Mandibule Humaine: une conception actuelle. Thesis. Université Catholique de Louvain, 1986.

Goulart CS, Nouer PR, Mouramartins L, Garbin IU, de Fátima Zanirato Lizarelli R. Photoradiation and orthodontic movement: experimental study with canines. *Photomed Laser Surg* 2006; 24: 192-6.

Gracco A, Malaguti A, Lombardo L, Mazzoli A, Raffaelli R. Palatal volume following rapid maxillary expansion in mixed dentition. *Angle Orthod* 2010; 80: 153-9.

Graves AR, Curran PK, Smith C, Mindell JA. The Cl⁻/H⁺ antiporter CIC-7 is the primary chloride permeation pathway in lysosomes. *Nature* 2008; 453: 788-92.

Greene CH, Zare RN. Photofragment Alignment and Orientation. *Ann Rev Phys Chem* 1982; 33: 119-50.

Guerra A, Muñoz P, Esuivel T, Boullón F, Tunér J. The effect of 670 nm Laser Therapy on herpes simplex and aphtae. *Photomed Laser Surg*. 2005 Abstracts from the 5th Congress of the world Association for Laser Therapy, November 25-27, 2004, Sao Paolo, Brazil. Abstr. 003, p. 90.

Gurley AM, Roth SI. Bone. In Sternberg SS, *Histology for Pathologists*. ed. New York: Raven Press; 1992: 61-80.

Haas AJ. The treatment of maxillary deficiency by opening the midpalatal suture. *Angle Orthod* 1965; 35: 200-17.

Habib FA, Gama SK, Ramalho LM, Cangussú MC, Santos Neto FP, Lacerda JA, Araújo TM, Pinheiro AL. Laser-induced alveolar bone changes during orthodontic movement: a histological study on rodents. *Photomed Laser Surg* 2010; 28: 823-30.

Halazonetis DJ, Katsavrias E, Spyropoulos MN. Changes in cheek pressure following rapid maxillary expansion. *Eur J Orthod* 1994; 16: 295-300.

Hassel B, Farman AG. Skeletal maturation evaluation using cervical vertebrae. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1995; 107: 58-66.

Hawkins D, Abrahamse H. Effect of multiple exposures of low-level laser therapy on the cellular responses of wounded human skin fibroblasts. *Photomed Laser Surg* 2006; 24: 705-14.

Hedner E. Herpes simplex virus type 1 and intraoral wound healing. *J of the SDA* 1994; 1: 8-10.

Hicks EP. Slow maxillary expansion: a clinical study of the skeletal versus dental response to low-magnitude force. *Am J Orthod* 1978; 73: 121-41.

Hill PA, Reynolds JJ, Meikle MC. Osteoblasts mediate insulin-like growth factor-I and -II stimulation of osteoclast formation and function. *Endocrinology* 1995; 136: 124-31.

Holberg C. Effects of Rapid Maxillary Expansion on the Cranial Base – an FEM-Analysis. *J Orofac Orthop* 2005; 66: 54-66.

Hourelid NN, Masha RT, Abrahamse H. Low-Intensity laser irradiation at 660nm stimulates cytochrome c oxidase in stressed fibroblast cells. *Lasers Surg Med* 2012; 44: 429-34.

Hua Y, Nackaerts O, Duyck J, Maes F, Jacobs R. Bone quality assessment based on cone beam computed tomography imaging. *Clin Oral Implants Res* 2009; 20: 767-71.

Huang YY, Sharma SK, Carroll J, Hamblin MR. Biphasic dose response in low level light therapy— an update. *Dose response* 2011; 9: 602–8.

Iglesias IM. La salud oral en la dentición primaria: (II) Estudio sobre la maloclusión y otras anomalías orales en una muestra de 441 niños de Vigo. *Av Odontoestomatol* 2003; 19: 12-9.

Işeri H, Ozsoy S. Semirapid maxillary expansion—a study of long-term transverse effects in older adolescents and adults. *Angle Orthod* 2004; 74: 71-8.

Iwasaki T, Takemoto Y, Inada E, Sato H, Suga H, Saitoh I, Kakuno E, Kanomi R, Yamasaki Y. The effect of rapid maxillary expansion on pharyngeal airway pressure during inspiration evaluated using computational fluid dynamics. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 2014; 78:1258-64.

Jenkins PA, Carroll JD. How to report low-level laser therapy (LLLT)/photomedicine dose and beam parameters in clinical and laboratory studies. *Photomed Laser Surg* 2011; 29: 785-7.

Kara IM, Erciyas K, Altan AB, Ozkut M, Ay S, Inan S. Thymoquinone accelerates new bone formation in the rapid maxillary expansion procedure. *Arch Oral Biol* 2012; 57: 357-63.

Kawamura M, Watanabe H, Yamamoto H, Ishikawa I. Effect of Nd:YAG and diode laser irradiation on periodontal wound healing. *Innov Techn Biol Med* 1990; 11: 113-27.

Kawasaki K, Shimizu N. Effects of low-energy laser irradiation on bone remodeling during experimental tooth movement in rats. *Lasers Surg Med* 2000; 26: 282–91.

Kjaer I, Keeling JW, Fisher B. The prenatal Human Cranium. Normal and pathologic development. Copenhagen, Denmark; Munksgaard: 1999.

Kjaer I. Human prenatal palatal shelf elevation related to craniofacial skeletal maturation. *Eur J Orthod* 1992; 14: 26-30.

Klein-nuleng, Bacabac RG, Mullender MG. Mechanobiology of bone tissue. *Path Biologie* 2005; 53: 576-80

Knaup B, Yildizhan F, Wehrbein H. Age-related changes in the midpalatal suture. *J Orofac Orthop* 2004; 65: 467-74.

Krebs A. Mid-palatal suture expansion studied by the implant method over a 7 year period. *Rep Congr Eur Orthod Soc* 1964; 40: 131-42.

Lagravère MO, Carey J, Ben-Zvi M, Packota GV, Major PW. Effect of object location on the density measurement and Hounsfield conversion in a NewTom 3G cone beam computed tomography unit. *Dentomaxillofac Radiol* 2008; 36: 305-8.

Lam TS, Abergel RP, Meeker CA, Castel JC, Dwyer RM, Uitto J. Laser stimulation of collagen synthesis in human skin fibroblast cultures. *Lasers Life Sci* 1986; 1: 61–77.

Lamparki D. Skeletal age assessment utilizing cervical vertebrae [Thesis]. Pittsburg: University of Pittsburgh; 1972 (cited from *Am J Orthod* 1995; 107: 58-663).

Leonardi R, Sicurezza E, Cutrera A, Barbato E. Early post-treatment changes of circumaxillary sutures in young patients treated with rapid maxillary expansion. *Angle Orthod* 2011; 81: 36-41.

Lima AL, Lima RM, Bolognese AM. Long-term Clinical Outcome of Rapid Maxillary Expansion as the Only Treatment Performed in Class I Malocclusion. *Angle Orthod* 2005; 75: 416–20.

Limpanichkul W, Godfrey K, Srisuk N, Rattanayatikul C. Effects of low-level laser therapy on the rate of orthodontic tooth movement. *Orthod Craniofac Res* 2006; 9: 38–43.

Linder-Aronson S. Adenoids: their effect on mode of breathing and nasal airflow and their relationship to characteristics of the facial skeleton and dentition. *Acta Otolaryngol Scand (suppl.)* 1970; 265: 132.

Lione R, Ballanti F, Franchi L, Baccetti T, Cozza P. Treatment and posttreatment skeletal effects of rapid maxillary expansion studied with low-dose computed tomography in growing subjects. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 2010; 138: 311-7.

- Lione R, Franchi L, Cozza P. Does rapid maxillary expansion induce adverse effects in growing subjects? *Angle Orthod* 2013; 83: 172-82. doi: 10.2319/041012-300.1.
- Liu. The effectiveness of semiconductor laser in the treatment of post-endodontic filling pain. *Proc. 7th Int Congr Lasers in Dentistry*, ISLD, Brussels, Belgium, July 2000, abstr. 28
- Lizarelli RF, Ciconelli KP, Braga CA, Berro RJ. Lasers in Dentistry. En: John D. Featherstone; Peter Rechman; Daniel Fried. *Low-powered laser therapy associated with oral implantology* *Proc SPIE*; 1999; vol 3593: 69-73.
- Long H, Pyakurel U, Wang Y, Liao L, Zhou Y, Lai W. Interventions for accelerating orthodontic movement. A systematic review. *Angle Orthod* 2013; 83: 164-71.
- Ludlow JB, Ivanovic M. Comparative dosimetry of dental CBCT devices and 64-slice CT for oral and maxillofacial radiology. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2008; 106: 106-14.
- Manfredini D, Perinetti G, Guarda-Nardini L. Dental malocclusion is not related to temporomandibular joint clicking: a logistic regression analysis in a patient population. *Angle Orthod* 2013; 19-24.
- Manne J. Le laser arseniure de gallium 6 watts, étude Clinique en odonto-stomatologie. *Le chirurgien Dent de France* 1985; 284:15-21.
- Manzanares, MC, Goret-Nicaise, M and Dhém, A. Metopicsuturalclosure in the human skull. *J Anat* 1998; 161: 203-15.
- Mao JJ. Mechanobiology of Craniofacial Sutures. *J Dent Res* 2002; 81: 810.
- Marie P, Kassem M. Osteoblasts in osteoporosis: past, emerging, and future anabolic targets. *Eur J Endocrinol* 2011; 165: 1-10.
- Markovic A, Todorovic LJ. Effectiveness of dexamethasone and low-power laser in minimizing oedema after third molar surgery: a clinical trial. *J Oral Maxillofac Surg* 2007; 36: 226-9.
- Marquezan M, Bolognese AM, Araújo MT. Effects of two low-intensity laser therapy protocols on experimental tooth movement. *Photomed Laser Surg* 2010; 28: 757-62.
- Martín C, Alarcón JA, Palma JC. Kinesiographic study of the mandible in young patients with unilateral posterior crossbite. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2000; 128: 541-8.
- Martin RB. Toward a unifying theory of bone remodeling. *Bone* 2000; 26: 1-6.
- Masha RT, Hourelid NN, Abrahamse H. Low-Intensity Laser Irradiation at 660nm Stimulates Transcription of Genes Involved in the Electron Transport Chain. *Photomed Laser Surg* 2013; 31: 47-53.
- Lee H, Ting K, Nelson M, Sun N, Sung SJ. Maxillary expansion in customized finite element method models *Am J Orthod Dentofac Orthop* 2009; 136: 367-74.
- McDougall PD, McNamara JA, Dierkes M. Arch width development in Class II patients treated with Fränkel appliance. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1982; 10-22.
- Meike MC. *Craniofacial Development, Growth and Evolution*. 1^a Edición. Bressingham, Norfolk, England: Bateson Publishing; 2002.
- Mezawa S, Iwata K, Naito K, Kamogawa H. The possible analgesic effect of soft-laser irradiation on heat nociceptors in the cat tongue. *Ach Oral Biol* 1988; 33: 693-4.
- Miloro M, Repasky M. Low-level laser effect on neurosensory recovery after sagittal ramus osteotomy. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol* 2000; 89:12-8.
- Moore K. Laser therapy in post herpetic neuralgia. *Laser Therapy* 1996; 8: 48.
- Morey ER, Baylink JJ. Inhibition of bone formation during space flight. *Science* 1978; 22: 1183-41.
- Muchitsch AP, Wendl B, Winsauer H, Pichelmayer M, Payer M. Rapid maxillary expansion screws on the test bench—a pilot study. *Eur J Orthod* 2011; 33: 256-62.

- Murcia MJ, Bravo LA. Epidemiología de la maloclusión dentaria en población murciana de 13 a 16 años de edad. *Rev Esp Ort* 1998; 28: 103-11.
- Mutinelli S, Cozzani M, Manfredi M, Bee M, Siciliani G. Dental arch changes following rapid maxillary expansion. *Eur J Orthod* 2008; 30: 469-76.
- Nanci, A. "Ten Cate's Oral histology 8th edition. Ed. Elsevier-Mosby. Missouri, 2013.
- Nakakawaji K, Kodachi K, Sakamoto T, Harazaki M, Isshiki Y. Correlation between facial patterns and function of the masticatory muscles in girls and women. *Bull Tokyo Dent Coll* 2002; 43: 51-9.
- Ngan P, Fields H. Orthodontic diagnosis and treatment planning in the primary dentition. *ASDC J Dent Child* 1995; 62: 25-33.
- Oberheim MC, Mao JJ. Bone Strain Patterns of the Zygomatic Complex in Response to Simulated Orthopedic Forces. *J Dent Res* 2002; 81: 608.
- Okamoto H, Iwase T, Morioka T. Dye-mediated bactericidal effect of HeNe laser irradiation on oral microorganisms. *Laser Surg Med* 1992; 12:450-8.
- Olmez H, Akin E, Karaçay S. Multitomographic evaluation of the dental effects of two different rapid palatal expansion appliances. *Eur J Orthod* 2007; 29: 379-85.
- Omura Y, Losco BM, Omura AK. Common factors contributing to intractable pain and medical problems with sufficient drug uptake in areas to be treated, and their pathologies and treatment. *Acupunct electrother Res* 1992; 17: 107-48.
- Ozawa Y, Shimizu N, Kariya G, Abiko Y. Low-energy laser irradiation stimulates bone nodule formation at early stages of cell culture in rat calvarial cells. *Bone* 1998; 22: 347-54.
- Ozdemir F, Tozlu M, Germec-Cakan D. Cortical bone thickness of the alveolar process measured with cone-beam computed tomography in patients with different facial types. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 2013; 143: 190-6.
- Pan XG, Qian YF, Yu J, et al. Biomechanical effects of rapid palatal expansion on the craniofacial skeleton with cleft palate: a three-dimensional finite element analysis. *Cleft Palate Craniofac J* 2007; 44:149-54.
- Paredes V, Paredes C. Prevalencia de los hábitos bucales y alteraciones dentarias en escolares valencianos. *An Pediatr* 2005; 62: 261-5.
- Parfitt AM, Mundy GR, Roodman GD, Hughes DE, Boyce BF. A new model for the regulation of bone resorption, with particular reference to the effects of bisphosphonates. *J Bone Miner Res* 1996; 11: 150-9.
- Perillo L, Masucci C, Ferro F, Apicella D, Baccetti T. Prevalence of orthodontic treatment need in southern Italian schoolchildren. *Eur J Orthod* 2010; 32: 49-53.
- Persson M, Magnusson BC, Thilander B. Sutural closure in rabbit and man: a morphological and histochemical study. *J Anat* 1978; 125: 313-21.
- Petrick S, Hothan T, Hietschold V, Schneider M, Harzer W, Tausche E. Bone density of the midpalatal suture 7 months after surgically assisted rapid palatal expansion in adults. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 2011; 139: S109-16.
- Pietruska M, Sobaniec S, Bernaczyk P, Cholewa M, Pietruski JK, Dolińska E, Skurska A, Duraj E, Tokajuk G. Clinical evaluation of photodynamic therapy efficacy in the treatment of oral leukoplakia. *Photodiagnosis Photodyn Ther* 2014; 11: 34-40.
- Pilipili CM, Goret-Nicaise M, Dhém A. Microradiographic aspects of the growing mandibular body during permanent eruption in the dog. *Eur J Oral Sci* 1998; 106 (Suppl): 429-36.
- Pinheiro AJ, Cavalcanti ET, Pinheiro TI, Alves MJ, Manzi CT. Low-level laser therapy in the management of disorders of the maxillofacial region. *J Clin Laser Med Surg* 1997; 15: 181-3.
- Pirttiniemi PM. Associations of mandibular and facial asymmetries – a review. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1994; 106: 191-200.

- Podesser B, Williams S, Crismani AG, Bantleon HP. Evaluation of the effects of rapid maxillary expansion in growing children using computer tomography scanning: a pilot study. *Eur J Orthod* 2007;29: 37-44.
- Provatidis CG, Georgiopoulos B, Kotinas A, McDonald JP. Evaluation of craniofacial effects during rapid maxillary expansion through combined in vivo / in vitro and finite element studies. *Eur J Orthod* 2008; 30: 437-48.
- Ricketts RM. A foundation for cephalometric communication. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1960; 46: 330-57.
- Roach, HI. Bone anatomy and cell biology. [Monografía en Internet]* Reviews of the European Calcified Tissue Society.;** [acceso 24 de junio 2015] Disponible en: http://www.ectsoc.org/reviews/011_roac.htm, 1/13-13-13.
- Rodrigo SM, Cunha A, Pozza DH, Blaya DS, Moraes JF, Weber JB, de Oliveira MG. Analysis of the systemic effect of red and infrared laser therapy on wound repair. *Photomed Laser Surg* 2009; 27: 929-35.
- Rubio JM, Robledo T, Llodra JC, Simón F, Artazcoz J, González VL. Criterios mínimos de los estudios epidemiológicos de salud dental en escolares. *Rev Esp Salud Publica* 1997; 71: 231-42.
- Sandikçioğlu M, Hazar S. Skeletal and dental changes after maxillary expansion in the mixed dentition. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1997; 111: 321-7.
- Sannomiya EK, Macedo MM, Siqueira DF, Goldenberg FC, Bommarito S. Evaluation of optical density of the midpalatal suture 3 months after surgically assisted rapid maxillary expansion. *Dentomaxillofac Radiol* 2007; 36: 97-101.
- Santiago VC, Piram A, Fuziy A. Effect of soft laser in bone repair after expansion of the midpalatal suture in dogs. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2012; 142: 615-24.
- Santos MT, de Souza Merli LA, Guare RO, Ferreira MC. The association of low and high laser treatments on self-inflicted lip injury: a case report. *Photomed Laser Surg* 2010; 28: 565-8.
- Sasaki A, Touma Y, Ishino Y, Tanaka E, Aoyama J, Hanaoka K, et al. Linear polarized near-infrared irradiation stimulates mechanical expansion of the rat sagittal suture. *Luminescence* 2003; 18: 58-60.
- Satiroglu F, Arun T, Isik F. Comparative data on facial morphology and muscle thickness using ultrasonography. *Eur J Orthod* 2005; 27: 562-7.
- Savakkanavar MB, Sridhar S, Dinesh D, Girish KS, Ramaseh GC. Association of temporomandibular joint dysfunction, condylar position and dental malocclusions in Davangere population. *J Contemp Dent Pract* 2012; 13: 528-33.
- Schauseil M, Ludwig B, Zorkun B, Hellak A, Korbmacher-Steiner H. Density of the midpalatal suture after RME treatment: a retrospective comparative low-dose CT-study. *Head Face Med* 2014; 20: 10-8.
- Schlager a, Offer T, Baldiseera I. Laser stimulation of acupuncture point P6 reduces postoperative vomiting in children undergoing strabismus surgery. *Br J Anaesth* 1998; 81: 529-32.
- Schlenker WL, Jennings BD, Jeiroudi MT, Caruso JM. The effects of chronic absence of active nasal respiration on the growth of the skull: a study pilot. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 2000; 127: 706-13.
- Schultz RJ, Krishnamurthy S, Thelmo W, Rodriguez J, Harvey G. Effects of varying intensities of laser energy on articular cartilage. *Lasers Surg Med* 1985; 5: 577-88.
- Shibli JA, Martins MC, Nociti FH Jr, Garcia VG, Marcoantonio EJr. Treatment on ligature-induced peri-implantitis by lethal photosensitization and guided bone regeneration: a preliminary histologic study in dogs. *J Periodontol* 2003; 3: 338-45.
- Silva GB, Sacono NT, Othon-Leite AF, Mendonça EF, Arantes AM, Bariani C, Duarte LG, Abreu MH, Queiroz-Júnior CM, Silva TA, Batista AC. Effect of low-level laser therapy on inflammatory mediator release during chemotherapy-induced oral mucositis: a randomized preliminary study. *Lasers Med Sci* 2015; 30:117-26.
- Simonet WS, Lacey DL, Dunstan CR, Kelley M, Chang MS, Lüthy R, Nguyen HQ, Wooden S, Bennett L, Boone T, Shimamoto G, DeRose M, Elliott R, Colombero A, Tan HL, Trail G, Sullivan J, Davy E, Bucay N, Renshaw-Gegg L, Hughes TM, Hill D, Pattison W, Campbell P, Sander S, Van G, Tarpley J, Derby P, Lee R, Boyle WJ. Osteoprotegerin: a novel secreted protein involved in the regulation of bone density. *Cell* 1997; 89: 309-19.

Sousa MV, Scanavini MA, Sannomiya EK, Velasco LG, Angelieri F. Influence of low-level laser on the speed of orthodontic movement. *Photomed Laser Surg* 2011; 29: 191–6.

Souza NH, Ferrari RA, Silva DF, Nunes FD, Bussadori SK, Fernandes KP. Effect of low-level laser therapy on the modulation of the mitochondrial activity of macrophages. *Braz J Phys Ther* 2013; 24: 76-80.

Staines M, Robinson WH, Hood JA. Spherical indentation of tooth enamel. *Journal of Material Science* 1981; 16: 2551–6.

Sun Z, Hueni S, Tee BC, Kim H. Mechanical strain at alveolar bone and circumaxillary sutures during acute rapid palatal expansion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2011; 139: e219-28.

Sun Z, Lee E, Herring SW. Cranial sutures and bones: growth and fusion in relation to masticatory strain. *Anat Rec A Discov Mol Cell Evol Biol* 2004; 276: 1-22.

Takeda Y. Irradiation effect of low energy laser on alveolar bone after tooth extraction. Experimental study in rats. *Int J Oral Maxillofac Surg* 1988; 17: 388-91.

Tanne K, Sakuda M, Burstone CJ. Three-dimensional finite element analysis for stress in the periodontal tissue by orthodontic forces. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1987; 92: 499-505.

Tasaki. Application of low power laser therapy in closed lock temporomandibular joint dysfunction. *Laser Surg Med* 1992; suppl 4: 84.

Tecco S, Festa F. Prevalence of signs and symptoms of temporomandibular disorders in children and adolescents with and without crossbites. *World J Orthod* 2010; 12: 37-42.

Teitelbaum SL. Bone resorption by osteoclasts. *Science* 2000; 289: 504-8.

Tepper G, Haas R, Zechner W, et al. Three-dimensional finite element analysis of implant stability in the atrophic posteriomaxilla: a mathematical study of the sinus floor augmentation. *Clin Oral Implants Res* 2002; 13: 657–65.

Tobin WJ. An atlas of the comparative anatomy of the upper end of the femur. Further evidence and confirmation of Wolff's Law of Bone Transformation. *Clin Orthop Relat Res* 1968; 56: 83-103.

Torri S, Weber JB. Influence of low-level laser therapy on the rate of orthodontic movement: a literature review. *Photomed Laser Surg* 2013; 31: 411-21.

Trelles MA, Mayayo E. Bone fracture consolidates faster with low-power laser. *Lasers Surg Med* 1987; 7: 36-45.

Trelles MA, Mayayo E. Mast cells are implicated in low power laser effect on tissue. A preliminary study. *Lasers in Medical Science* 1992; 7: 73.

Trelles MA, Ringau J, Sala P, Calderhead G, Ohshro T. Infrared diode laser in low reactive-level therapy (LLLT) for knee osteoarthritis. *Laser Ther* 1991; 2: 149–54.

Tsiklakis K, Donta C, Gavala S, Karayianni K, Kamenopoulou V, Hourdakakis CJ. Dose reduction in maxillofacial imaging using low dose cone beam CT. *Eur J Radiol* 2005; 56: 413-7.

Van Breugel HHFI, Bär PR. Power density and exposure time of He-Ne laser irradiation are more important than total energy dose in photo-biomodulation of human fibroblasts in vitro. *Lasers Surg Med* 1992; 12: 528–37.

van Rensburg SD, Wiltshire WA. The effect of soft laser irradiation on fluoride release of two fluoride-containing orthodontic bonding materials. *J Dent Assoc Afr* 1994; 49: 127-31.

Verrue V, Dermaut L, Verheghe B. Three-dimensional finite element modelling of a dog skull for the simulation of initial orthopaedic displacements. *Eur J Orthod* 2001; 23: 517–27.

Wahl G, Bastianer S. Soft laser in postoperative care in dentoalveolar treatment. *ZWR* 1991; 100: 512-5.

Wang D, Cheng L, Wang C, Qian Y, Pan X. Biomechanical analysis of rapid maxillary expansion in the UCLP patient. *Med Eng Phys* 2009; 31: 409-17.

Wehrbein H, Yildizhan F. The mid-palatal suture in young adults. A radiological-histological investigation. *Eur J Orthod* 2001; 23: 105-14.

Weinbaum S, Cowin Sc, Zeng Y. A model for the excitation of osteocytes by mechanical loading-induced bone fluid shear stresses. *J Biomech* 1994; 27: 339-60.

Weissheimer A, de Menezes LM, Mezomo M, Dias DM, de Lima EM, Rizzato SM. Immediate effects of rapid maxillary expansion with Hass-type and hyrax-type expanders: a randomized clinical trial. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2011; 140: 366-76.

Wertz RA. Changes in nasal airflow incident to rapid maxillary expansion. *Angle Orthod* 1968; 38: 1-11.

Wertz RA: Skeletal and dental changes accompanying rapid midpalatal suture opening. *Am J Orthod* 1970; 58: 41-66.

Williams PL. *Gray's Anatomy*. 38.ª Edición. Edinburg; Churchill Livingstone: 1995.

Woller JL, Kim KB, Behrens RG, Buschang PH. An assessment of the maxilla after rapid maxillary expansion using cone beam computed tomography in growing children. *Dental Press J Orthod* 2014; 19: 26-35.

Wrixon, A. D., 2008. New ICRP recommendations. *J. Radiol. Prot.* 28, 161–168

Yamagishi H, Shinohara C, Saitoh S, Sasaki H, Kanegae H, Shibasaki Y. A basic study on the use of semiconductor laser of penetrative sensitivity on living tissue. *J Jpn Soc Laser Dent* 1994; 5: 13–22.

Yamaguchi M, Fujita S, Yoshida T, Oikawa K, Utsunomiya T, Yamamoto H, Kasai K. Low energy laser irradiation stimulates the tooth movement velocity via expression of M-CSF and c-fms. *Orthod Waves* 2007; 66, 139–48.

Yamaguchi M, Hayashi M, Fujita S, Yoshida T, Utsunomiya T, Yamamoto H, Kasai K. Low energy laser irradiation facilitates the velocity of tooth movement and the expressions of matrix metalloproteinase-9, cathepsin K, and alpha(v) beta(3) integrin in rats. *Eur. J Orthod* 2010; 32: 131–9.

Yamaguchi M, Ito M, Miwata T, Horiba N, Matsumoto T, Nakamura H, Fukaya M. Clinical study on the treatment of hypersensitive dentine by Ga Al As laser diode using the double blind test. *Aichi Gakuin Daigaku shigakkai shi – Aichigakuin Journal Dental Scienc* 1990; 28:703-7.

Yamaguchi M, Fujita S, Yoshida T. Low energy laser irradiation stimulates the tooth movement velocity via expression of M-CSF and c-fms. *Orthod Waves* 2007; 66, 139–148.

Yasseaei S, Fekrazad R, Shahraki N. Effect of low level laser therapy on orthodontic tooth movement: a review article. *J Dent* 2013; 10; 264-72.

Yoshida T, Yamaguchi M, Utsunomiya T, Kato M, Arai Y, Kaneda T, Yamamoto H, Kasai K. Low-energy laser irradiation accelerates the velocity of tooth movement via stimulation of the alveolar bone remodeling. *Orthod Craniofac Res* 2009; 12: 289–298.

Youssef M, Ashkar S, Hamade E, Gutknecht N, Lampert F, Mir M. The effect of low-level during orthodontic movement: a preliminary study. *Lasers Med Sci* 2008; 23: 27-33.

Zachary JF, McGavin D. *Pathologic Basis of Veterinary Disease*, 5ª ed Missouri: Elsevier; 2012.

Zimring JF, Isaacson RJ. Forces produced by rapid maxillary expansion. Part III. Forces presented during retention. *Angle Orthod* 1965; 35: 178-86.

Zungu IL, Mbene AB, Hawkins Evans DH, Houreld NN, Abrahamse H. Phototherapy promotes cell migration in the presence of hydroxyurea. *Lasers Med Sci* 2008; 24: 144-50.

<http://www.idescat.cat/poblacio/pobleestructura.html>.

International Classification of Diseases (ICD). Denmark: World Health Organization. c2013 - [2013mar8]. Available from: <http://apps.who.int/classifications/icd10/browse/2010/en#/K07.2>

Listado de figuras

Figura 2.1. Representación esquemática del hueso laminar. Fuente: Welsch U. Sobotta Histología. 3ª ed. München, Germany: Ed. Médica Panamericana; 2008.

Figura 2.2. Representación esquemática de un osteoblasto, osteocito y osteoclasto. Fuente: Welsch U. Sobotta Histología. 3ª ed. München, Germany: Ed. Médica Panamericana; 2008

Figura 2.3. A. Invaginación de la cavidad oral primitiva (estomodeo). B. Desarrollo del proceso fronto nasal medio y lateral. Fuente: T. W. Sadler, Langman. Fundamentos de embriología médica con orientación clínica. 1ª ed. Buenos Aires, Argentina; Ed. Médica Panamericana, 2006.

Figura 2.4. AB. Crecimiento vertical del tabique nasal en la línea media y las crestas palatinas alrededor de la lengua. El tabique primario, crestas palatinas y tabique nasal no están articulados. CD. La lengua adquiere una posición baja y las crestas palatinas siguen osificándose horizontalmente y aproximándose mientras que el tabique sigue su desarrollo. EF. Crestas palatinas articuladas con huesos palatinos y vómer y paladar primario (dando lugar al agujero incisivo). Fuente: Aldo R. Eynard, Mirta A. Valentich, Roberto A. Rovasio. Histología y embriología del ser humano: bases celulares y moleculares. 4a. ed. Buenos Aires, Argentina: Ed. Médica Panamericana; 2008.

Figura 2.5. Estadios de maduración de la sutura maxilar y palatina. Fuente: Angelieri F, Cevidanes LH, Franchi L, Gonçalves JR, Benavides E, McNamara JA Jr. Midpalatal suture maturation: classification method for individual assessment before rapid maxillary expansion. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2013; 144: 759-69.

Figura 2.6. Comportamiento de la musculatura con la respiración oral A y nasal B. Alteraciones funcionales.

Figura 2.7. Hábitos inadecuados. A Compresión maxilar provocada por succión digital. B Mordida abierta y mordida cruzada bilateral asociada a un uso prolongado del chupete.

Figura 2.8. Alteraciones funcionales. A-B Mordida cruzada unilateral y anterior asociada a hipertrofia amigdalar. C-D Compensación dentoalveolar del cuarto cuadrante y mordida cruzada anterior en un paciente con limitación de la movilidad lingual.

Figura 2.9. A Fotografía intraoral. B Fotografía extraoral en donde se aprecia la desviación mandibular. C Ortopantomografía.

Figura 2.10. Relaciones interarcadas de las anomalías transversales en el plano transversal.

Figura 2.11. Cambios oclusales interarcadas al pasar de mordida cruzada de causa funcional a mordida cruzada bilateral. 6 A Clase II Canina y Molar. 6 B líneas medias interincisivas no centradas. 6 C Clase I Canina y Molar. 6 D Clase I Canina y Molar. 6 E Líneas medias interincisivas centradas. 6 F Clase I Canina y I-III Molar

Figura 2.12. Galicia. 441 niños: edad media 9,6 (Iglesias), Cataluña. 1051 niños, edad media 9,3 (García i Ustrell) Comunidad de Valencia. 1100 niños, edad media 8,1 (Paredes), Comunidad de Madrid. 364 niños, edad media 9,58 (Alió), Andalucía 1000 niños, edad media (De Haro), Murcia. 420 niños, edad media 14,5 (Murcia i Bravo), Granada 170 niños, edad media 8,1 (Baca et al) Zaragoza-Sta. Cruz-Palma-San Sebastián, edad 13,2-13,6-13,2-13,1 (Bravo et al.), Valencia. 262 niños, edad media 9,2 (Canut i Vila).

Figura 2.13. Línea de actuación para corregir las diferentes anomalías transversales.

Figura 2.14. Mordida Cruzada Bilateral.

Figura 2.15. Mordida Cruzada Unilateral por desviación funcional.

Figura 2.16. Mordida Cruzada Unilateral con desviación mandibular en crecimiento. A Fotografía intraoral. B Detalle de la sutura palatina aún no cerrada.

Figura 2.17. Mordida Cruzada Unilateral con desviación de la mandíbula sin crecimiento. A-B Paciente con ligera compresión maxilar y desviación mandibular, candidato a realizar un camuflaje con ortodoncia fija. C Mordida cruzada grave a tratar con una combinación de ortodoncia y cirugía ortognática.

Figura 2.18. Mordida Cruzada sin desviación mandibular.

Figura 2.19. Mordida Incompleta.

Figura 2.20. A-B Mordida Cruzada Oculta por una importante relación sagital de clase II. Obsérvese como se expresa el avance en constructiva. C Mordida Cruzada Oculta con compensaciones del proceso dentoalveolar. Las líneas discontinuas indican la inclinación adquirida por los sectores laterales y posteriores para entrar en oclusión.

Figura 2.21. Mordida Cruzada Completa Lingual de causa dental.

Figura. 2.22. Mordida Cruzada Completa Vestibular de causa esquelética en un paciente con fisura labioalveolopalatina unilateral. A-B Pretratamiento. C-D Imágenes una vez realizada la disyunción y (previo injerto).E – F. Paciente 1 más después de la cirugía. Se puede apreciar el fracaso del aloinjerto por mala higiene oral.

Figura 2.23. Representación de la Energía electromagnética que produce un fotón. El comportamiento ondulatorio del fotón produce un campo eléctrico en el plano y un campo magnético perpendicular al eléctrico.

Figura 2.24. Espectro electromagnético.

Figura 2.25. Átomo estimulado. La energía se libera en forma de fotón.

Figura 2.26. A Esquema de un láser. B Tres tipos de emisión láser.

Figura 2.27. A Consola B Láser.

Figura 2.28. Según la ley de Arndt-Schulz, a partir de 0.01 J/cm² hasta 10 J/cm² se produce un efecto estimulador para una ulcera. A partir de 10 J/cm² se produce un efecto supresor.

Figura 2.29. Dosis equivalente de diferentes técnicas radiográficas.

Figura 2.30. Modelo D4 Data Acquisition Conditioner

Figura. 2.31. Esquema explicativo de la deformación de un cuerpo (proporción entre la longitud original y el aumento de longitud al verse sometido a una fuerza externa).

Figura 2.32. A Esquema de una galga extensiométrica. Obsérvese las hojas metálicas (longitud activa de la rejilla) dispuestas sobre el portador y que están conectadas a los bornes. B se observa una imagen de la galga utilizada para el estudio. En este caso el portador es una fibra polimérica de color naranja y la rejilla está soldada a los bornes en dirección enfrentada. De los bornes salen unos filamentos que se sueldan al receptor RJ-45.

Figura 2.33. Información que adjunta el fabricante. A destacar el valor nominal y el FG que indica la capacidad de variar la deformación de la galga.

Figura 2.34. Ilustración de los diferentes tipos de subdominios o partes de un continuo.

Figura 2.35. Malla de sólido de disyuntor para expansión palatina.

Figura 2.36. Función vectorial u con tres componentes escalares.

Figura 2.37. Diferencia de longitud de un mismo cuerpo sometido a fuerza y su expresión matemática (Módulo de Young).

Figura 2.38. Barra sometida a una fuerza axial.

Figura 4.1. Estadios de maduración de las tercera vertebra cervicale propuesto por Lamparski (1972) y modificado posteriormente por Hassel and Farman (1995).

Figura 4.2. Hueso maxilar a la izquierda y hueso palatino a la derecha. En el hueso maxilar la línea roja (suelo del paladar) delimita la sutura inferior (S.I) en azul de la sutura superior (S.S.A) y sutura superior posterior (S.S.P.) en amarillo. La flecha roja indica el limite posterior de S.I.

Figura 4.3. Descripción de difentes estadios de osificación de la sutura inferior (S.I). A Discontinuidad de la cortical anterior, posterior y del conducto interincisivo. B Continuidad de la cortical anterior, conducto interincisivo y discontinuidad de la cortical posterior. C Discontinuidad de la cortical anterior, zona anterior-distal del conducto interincisivo y continuidad de la cortical posterior y gran parte del conducto

interincisivo. En este caso aun estando el 90% aproximadamente de la cortical del conducto interincisal continua se consideraría discontinua.

Figura 4.4. Aproximación de toda sutura desde Espina Nasal Anterior hasta huesos palatinos.

Figura 4.5. A Márgenes separados bien definidos. B Márgenes separados festoneados en alguna de sus zonas.

Figura 4.6. Márgenes de la sutura mal definidos.

Figura 4.7. A Plano sagital con los planos para localizar el corte axial. B Corte axial en donde medir la distancia sutura anterior inferior.

Figura 4.8. A Plano sagital con los plaos para localizar el corte axial. B Corte axial en donde medir la distancia sutura posterior.

Figura 4.9. A Proyección axial. B. Proyección sagital.

Figura 4.10. Conexión Galga-Pin-D4. Las flechas verdes y azules indican la unión de los filamentos correspondientes (D120 – E-) y las amarillas el filamento de voltaje positivo (E+).

Figura 4.11. A Parte posterior de la galga extensiométrica con los filamentos pre-soldados a los bornes de la redcilla metálica. B Imagen de la disposición que se le da a los pines con el fin de adaptarlos a la forma del disyuntor para que no se toquen entre sí y no produzcan lesión al paciente.

Figura 4.12. Pasos a seguir para la adherir el sistema galga extensiométrica-conexión a los brazos del disyuntor.

Figura 4.13. Geometría del disyuntor una vez conformado para expansión palatina.

Figura 4.14. Discretización del disyuntor en superficies tetraédricas.

Figura 4.15. Malla-Mesh.

Figura 4.16. Tensiones: tensión de von Mises (carga 0.5 kg).

Figura 4.17. Deformaciones unitarias.

Figura 4.18. Deformación de los brazos con una fuerza vertical (líneas rojas).

Figura 4.19. Mesh del disyuntor.

Figura 4.20. Detalle de la zona ideal para ubicar la galga extensiométrica. La flecha indica las subdivisiones de menor tamaño.

Figura 4.21. Discretizado de un maxilar realizado para valorar los cambios tras una expansión rápida del maxilar. Obsérvese que los elementos tetraédricos son de gran tamaño. Fuente: Provatidis CG, Georgiopoulos B, Kotinas A, McDonald JP. Evaluation of craniofacial effects during rapid maxillary expansion through combined in vivo / in vitro and finite element studies. *European Journal of Orthodontics* 2008; 30: 437–48.

Figura 4.22. Esquema de localización y el modo de las fuerzas aplicadas.

Figura 4.23. Esquema de localización y el modo de las fuerzas aplicadas.

Figura 4.24. Imagen que divide la malla en colores según la cantidad de deformación tras 0.5 Newtons.

Figura 4.25. Plataforma motorizada xy 531.PD. A Sensor de fuerza. B Aparato disyuntor fijado. C Base de la plataforma.

Figura 4.26. Corte axial de un paciente en dentición mixta en donde se aprecia mediciones en los puntos a irradiar. En la zona anterior con 0,5 cm prácticamente no se superponer las zonas irradiadas.

Figura 4.27. Puntos en donde se coloca la sonda del láser.

Figura 5.1. Cartograma de los municipios de Barcelona (A) y Tarragona (B) con el número de pacientes incluidos en el estudio.

Figura 5.2. Gráfico con el comportamiento de la tensión para el brazo A.

Figura 5.3. Gráfico con el comportamiento de la tensión para el brazo B.

Figura 5.4. Gráfica A para el brazo A y gráfica B para el brazo B.

Figura 5.5. Gráfica que ilustra la distribución de la tensión para cada uno de los patrones de crecimiento vertical.

Figura 5.6. Gráfica ilustrativa de cómo se acumula la disipación de tensión en el brazo A en los pacientes irradiados y los pacientes placebo.

Figure 5.7. Von Mises stress en los brazos de acero inoxidable del aparato tras aplicar una carga de 2.5 N en (A) molares temporales y en (B) molares permanentes.

Figura 5.8. Predicción MEF de tensión acumulada al aplicar distintas fuerzas en la zona anterior de la placa de resina del disyuntor.

Figura 5.9. Predicción MEF de tensión acumulada al aplicar distintas fuerzas en la zona posterior de la placa de resina del disyuntor.

Figura 5.10. Superposición de la tensión acumulada registrada por el MEF y por los datos de laboratorio (plataforma) al aplicar distintas fuerzas en la zona anterior de la placa de resina del disyuntor.

Figura 5.11. Superposición de la tensión acumulada registrada por el MEF y por los datos de laboratorio (plataforma) al aplicar distintas fuerzas en la zona posterior de la placa de resina del disyuntor.

Figura 5.12. Porcentaje apilado de los casos en que $F1 < F2$, $F1 = F2$ y $F1 > F2$ para cada uno de los patrones de crecimiento vertical y en diferentes fases (T2 y T7) y en los picos de máxima Fuerza predicha.

Figura 5.13. Gráfico que muestra la agrupación de pacientes con separación intrasutura entre pacientes irradiados (Si) y pacientes placebo (No).

Figura 5.14. Gráfico de barras apiladas con los porcentajes de pacientes con la sutura aproximada en la zona anterior y posterior de la sutura superior.

Figura. 5.15. Representación gráfica sobre el porcentaje de pacientes con elementos aproximados para los pacientes placebo e irradiados.

Figura 5.16. Gráfica que muestra la relación entre la tensión acumulada y la distancia intrasutura en el primer escáner en el brazo A y B (Figura 5.16. A y B) y en el segundo escáner para el brazo A y B (Figura 5.16. C y D).

Figura 6.1. Curva representativa que muestra la extinción de la fuerza y la no transferencia de fuerza durante la fase de retención. Fuerzas grandes están principalmente localizadas en la zona molar posterior para los patrones dolicocefálicos (A). No se observa preferencias para la localización de fuerzas grandes entre la zona anterior y la zona posterior en patrones mesocefálicos (B). Fuerzas mayores están localizadas en la zona anterior para los patrones braquicefálicos (C).

Figura 6.2. Esquema del patrón de apertura en las tres dimensiones y la dirección en la que se empieza a reorganizar los tejidos según los valores obtenidos en el día 75 de retención fija.

Listado de tablas

Tabla 2.1. Cambios tras una ERM analizados en diferentes estudios.

Tabla 2.2. Efectos biológicos hallados por el tratamiento con luz láser.

Tabla 2.3. Estudios sobre diferentes aplicaciones del láser de baja intensidad en el sistema oral.

Tabla 2.4. Lesión ocular en función de la longitud de onda.

Tabla 2.5. Números escala. En donde P se expresa en W/m^2 , E en J/m^2 .

Tabla 2.6. Comparativa de aparatos CBCT con diferentes tamaños de visualización.

Tabla 2.7. Características elásticas de materiales y estructuras anatómicas relacionados con la expansión rápida palatina y el autor y año en el que se definió.

Tabla 2.1. División equilibrada cada 2 individuos en donde A es el grupo irradiado y B es el grupo placebo. P (Permutación), Tto. (Tipo de tratamiento) y Ind. (El número de individuo).

Tabla 2.2. Plantilla que cumplimentaron los ortodoncistas y que resume los valores que determinaran el patrón de crecimiento vertical.

Tabla 2.3. Coeficiente de Correlación Intraclase.

Tabla 2.4. Análisis cualitativo de la sutura maxilar.

Tabla 2.5. Parámetros experimentales aplicados a los materiales empleados en el estudio de simulación.

Tabla 4.1. División equilibrada cada 2 individuos en donde A es el grupo irradiado y B es el grupo placebo. P (Permutación), Tto. (Tipo de tratamiento) y Ind. (El número de individuo).

Tabla 4.2. Plantilla que cumplimentaron los ortodoncistas y que resume los valores que determinaran el patrón de crecimiento vertical.

Tabla 4.3. Análisis cualitativo de la sutura maxilar.

Tabla 4.4. Parámetros experimentales aplicados a los materiales empleados en el estudio de simulación.

Tabla 4.5. Condiciones de simulación aplicadas en MEF.

Tabla 4.6. Parámetros de irradiación y de tratamiento aplicados a los pacientes.

Tabla 4.7. Estrategia de búsqueda y las diferentes bases de datos.

Tabla 5.1. Coeficiente de Correlación Intraclase para concordancia entre ortodoncistas.

Tabla 5.2. Coeficiente de Correlación Intraclase para concordancia entre radiólogos.

Tabla 5.3. Tabla de contingencia entre las variables género y estadio de maduración considerando las variables continuas.

Tabla 5.4. Descripción completa de la muestra. Género, edad, valores de Vert (CVV) e Índice de maduración esquelética según el patrón de crecimiento vertical.

Tabla 5.5. Medición de las distancias a, b, 6--6, y 6—6 en los modelos de estudio y en los modelos tras retirar el aparato de ERP. Distancia en milímetros.

Tabla 5.6. Media de la tensión acumulada en cada uno de los momentos en que se registro la tensión. Valores en microstains.

Tabla 5.7. Estadística descriptiva entre los diferentes patrones de crecimiento vertical en el brazo A – B al final de la fase de expansión y de retención y la media de disipación de tensión (↓Tensión). La tensión está expresada en μS . % N Porcentaje de individuos en la muestra.

Tabla 5.8. Estadística descriptiva del inicio de la disipación de la tensión residual entre los diferentes patrones de crecimiento en los brazos A y B durante la fase activa y pasiva. En las columnas de cada intervalo de tiempo se aprecia el número de individuos (N), el porcentaje total sobre el total de la muestra (%N) y el porcentaje acumulado (%N Tipo).

Tabla. 5.9. Descripción de la tensión acumulada para los pacientes placebo y los irradiados.

Tabla 5.10. Detalle de los valores registrados en cada brazo para cada uno de los patrones de crecimiento y su valor-p.

Tabla 5.11. Relación entre la recidiva tardía o temprana para el Brazo A y B en función del patrón de crecimiento.

Tabla 5.12. Descripción de la fuerza registrada en los momentos T1-T7 en la zona anterior de molares temporales y zona posterior de molar permanente.

Tabla 5.13. Porcentaje del momento en el que empezó a recidivar la fuerza predicha sobre los molares temporales (zona anterior – F1) y los molares permanentes (zona posterior – F2).

Tabla 5.14. Descripción de las fuerzas estimadas en el primer molar permanente y en los molares temporales durante la fase activa y de retención y la media de reducción de fuerza (fuerza expresada en newtones).

Tabla 5.15. Análisis descriptivo cuantitativo de las distancias obtenidas en CBCT 1 y CBCT 2.

Tabla 5.16. Análisis descriptivo cualitativo de la sutura maxilar en diferentes zonas de su anatomía. Las casillas en blanco indican si la sutura estaba aproximada o no, mientras que las casillas en azul indican en que estadio de organización se encontraba los márgenes suturales.

Tabla 5.17. Análisis inferencial cuantitativo entre pacientes irradiados y grupo placebo.

Tabla 5.18. Análisis inferencial cualitativo. Las casillas azules muestran como describen los radiólogos el estado de la sutura. * Valores estadísticamente significativos. -- No se cumplen las condiciones para aplicar el test, pero parece que no hay relación entre las variables.

Tabla 5.19. Correlación ente las variables Máxima distancia de la sutura y Brazo A y B en T2 (primer escáner) y T7 (segundo escáner).

Tabla 5.20. Resumen de datos del dispositivo laser y de los parámetros de irradiación en estudios humanos y en ratas.

Tabla 5.21. Resumen de los datos de los parámetros de tratamiento en estudios humanos y en ratas.

Tabla 5.22. Resumen de datos de los ensayos realizados en humanos. (Características de los pacientes y método de tracción).

Tabla 5.23. Resumen de datos de los 11 ensayos en animales. (Características de los sujetos y método de tracción).

Tabla 5.24. Relación entre los parámetros biológicos valorados, la técnica histoquímica y el día en el que se encontró diferencias o no estadísticamente significativas.

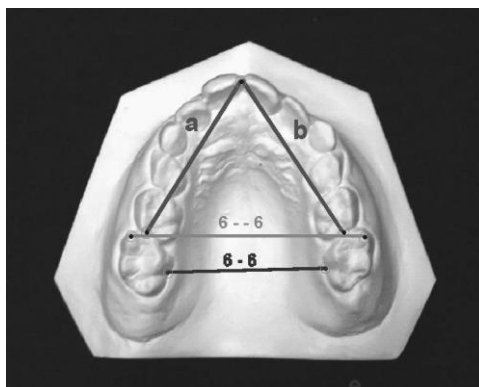
Abreviaturas

A	Área
AEF	Análisis Elementos Finitos
AINE	Antiinflamatorios no esteroides
ANSI	American National regulation Institute
ATP	Adenosina trifosfato
BMP	Proteínas morfogenéticas
CAD	Computed Assist Design
CBCT	Cone Beam Tomography Computerized
CE	Comunidad Europea
CIPR	Comisión Internacional Protección Radiológica
cm²	centímetro cuadrado
CVV	Valores del Índice de VERT (Ricketts)
D	Dosis
d	Profundidad
E	Módulo de elasticidad longitudinal
ED	Energy density
EN	Estándares europeos elaborados por el Comité Europeo de Normalización
ERM	Expansión rápida maxilar
FA	Fosfatasa alcalina
FDA	Federal Drugs and Alimentation
FG	Factor de galga
Ga-Al-AS	Gallium- Aluminium-Arsenide
In-Ga-AIP	Indium-Gallium-Aluminium-Phospide
I	Irradiancia
IGF-1	Factor de crecimiento insulínico
IL	Interleuquina
in	Pulgadas
J/m²	Joule/metro cuadrado
LIF	Factor inhibidor de la leucemia
LLLT	Low level laser Therapy (Laser de baja densidad de potencia)
M- CSF	Factor estimuladores de colonias de monocitos-macrófagos
MCB	Mordida cruzada bilateral
MCC	Mordida cruzada completa
MCO	Mordida cruzada oculta
MCP	Mordida cruzada posterior
MCU	Mordida Cruzada Unilateral
MDCT	Multidetector Computed Tomography
MEF	Modelo elementos finitos
MI	Mordida incompleta
MPAS	Sutura Anterior Mediopalatina
ms	milisegundo
MSCs	Células madre estromales mesenquimales
mW	mili Vatio
nm	nanómetro
ns	nanosegundo
OB	Osteoblasto
OC	Osteoclasto

OCN	Osteocalcina
OPGL/RANKL	Osteoprotegerina-receptor activador de NF κ ligando
OS	Osteocito
P	Potencia / Output
PDGF	Factor de crecimiento derivado de las plaquetas
PIM	Posición intercuspidadación máxima
PTH	Paratohormona
RC	Relación Céntrica
RGD	Arginina-Glicina-Aspártico
RO	Remodelado óseo
ROI	Región de Interés
Runx2	Runt-related transcription factor 2
S	Strain
SARME	Surgical assistant rapid maxillary expansión
Sv	Sieverts (mSV/milisieverts)
t	tiempo
TGF-b	Factor transformante-b
TNF	Factor de necrosis tumoral
TRAP	Tartrate-resistant acid-phosphatase
TSP	Trombospondina
UH	Unidades Hounsfield
v	Cociente de Poisson
via Wnt	Familia de glucoproteínas que actúa como vía de señalización
W/m²	Vatios/metro cuadrado
μS	microstrain
δ_{ij}	Coefficiente de tension-fuerza
λ	Longitud de onda (metros)
ε	Deformación unitaria

Anexos

Anexo 4.3. Mides i Incidències



FASE ACTIVA				
Dia	Mides Intraorals			Tensiòmetre
	6-6	6--6	a + b	
Día 1(/ /)				
Dia 2T1(/ /)				
Dia 3 T1,5 (/ /)				

FASE RETENCIÓ				
Dia	Mides Intraorals			Tensiòmetre
	6-6	6--6	a + b	
Día 4 T2 (/ /)				
Dia 5T3(/ /)				
Dia 6 T4 (/ /)				
Dia 7T5 (/ /)				
Dia 8 T6 (/ /)				
Dia 9T7 (/ /)				
Dia 10 3 mesos (/ /)				
Dia 11 6 mesos (/ /)				

Incidències:

Dia	Incidència
(/ /)	
(/ /)	
(/ /)	
(/ /)	
(/ /)	
(/ /)	

Anexo 4.2. Datos introducidos para realizar Método de Elementos Finitos (MEF).

1. Propiedades del estudio

Nombre de estudio	Estudio 1
Tipo de análisis	Estático
Tipo de malla:	Malla sólida
Tipo de solver	Solver tipo FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando (Soft Spring):	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Efecto térmico:	Introducir temperatura
Temperatura a tensión cero	298.000000
Unidades	Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SolidWorks Flow Simulation	Desactivar
Fricción:	Desactivar
Ignorar distancia para contacto superficial	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar

2. Unidades

Sistema de unidades:	SI
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	rad/s
Tensión/Presión	N/m ²

3. Propiedades de material

Nº	Nombre de sólido	Material	Masa	Volumen
1	Sólido 1(Cortar-Extruir2)	[SW]AISI 304	0.00965569 kg	1.20696e-006 m ³

Nombre de material:	[SW]AISI 304
Descripción:	
Origen del material:	
Tipo de modelo del material:	Isotrópico elástico lineal
Criterio de error predeterminado:	Desconocido
Datos de aplicación:	

Nombre de propiedad	Valor	Unidades	Tipo de valor
Módulo elástico	1.9e+011	N/m ²	Constante
Coefficiente de Poisson	0.29	NA	Constante

Módulo cortante	7.5e+010	N/m ²	Constante
Densidad	8000	kg/m ³	Constante
Límite de tracción	5.1702e+008	N/m ²	Constante
Límite elástico	2.0681e+008	N/m ²	Constante
Coefficiente de dilatación térmica	1.8e-005	/Kelvin	Constante
Conductividad térmica	16	W/(m.K)	Constante
Calor específico	500	J/(kg.K)	Constante

4. Cargas y restricciones

Aplicación de presión homogénea en plano medio aproximado de la zona con resina, equivalente a una fuerza de 5 N (0,5 kg) ejercida por cada uno de los lados solicitados.

Restricción de movimiento del plano de simetría del disyuntor (de acuerdo con la suposición de simetría de geometría y cargas que se ha indicado).

5. Sujeción

Nombre de restricción	Conjunto de selecciones	Descripción
Fijo-1 <disyuntor1c-ensayo2>	activar 3 Cara(s) fijo.	

6. Carga

Nombre de carga	Conjunto de selecciones	Tipo de carga	Descripción
Presión-1 <disyuntor1c-ensayo2>	activar 1 Cara(s) con presión 0.05 N/mm ² (MPa) a lo largo de la dirección normal a la cara seleccionada	Carga secuencial	

7. Definiciones de conector

No hay conectores definidos

8. Contacto

Componente continuo, no se consideran contactos.

9. Información de malla

Tipo de malla:	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Superficie suave:	Activar
Verificación jacobiana:	4 Points
Tamaño de elementos:	0.5326 mm
Tolerancia:	0.02663 mm
Calidad:	Alta
Número de elementos:	50705
Número de nodos:	75288
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:08
Nombre de computadora:	FA-GL126

Anexo 4.3. Resultados del MEF.

1. Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Suma X	Suma Y	Suma Z	Resultante
Todo el sólido	N	4.83008	0.000126928	-1.29413	5.00044

2. Fuerzas de cuerpo libre

Conjunto de selecciones	Unidades	Suma X	Suma Y	Suma Z	Resultante
Todo el sólido	N	2.85334e-005	3.42242e-005	3.52785e-006	4.46978e-005

3. Momentos de cuerpo libre

Conjunto de selecciones	Unidades	Suma X	Suma Y	Suma Z	Resultante
Todo el sólido	N-m	0	0	0	1e-033

4. Ensayo fuerza homogéneamente distribuida de 0.5 kg.

Resultados predeterminados

Nombre	Tipo	Mín.	Ubicación	Máx.	Ubicación
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	432.673 N/m ² Nodo: 74558	(15.2487 mm, 16.7667 mm, 9.97037 mm)	1.54495e+008 N/m ² Nodo: 63590	(4.4045 mm, 0.632672 mm, 4.37505 mm)
Desplazamientos1	URES: Desplazamiento resultante	0 mm Nodo: 1803	(0 mm, 2.84437 mm, -2.2625 mm)	0.16295 mm Nodo: 2698	(20.8028 mm, 16.1799 mm, 8.75218 mm)
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	1.54678e-009 Elemento: 32682	(15.2338 mm, 13.9561 mm, 10.0406 mm)	0.00056348 Elemento: 17921	(4.2688 mm, 0.603858 mm, 4.34238 mm)

Anexo 4.4. Criterios de normalidad durante la expansión rápida del maxilar.

1. Els pacients han d'estar capacitats per activar el cargol diàriament i omplir el qüestionari del dolor.
2. El pacient ha de ser capaç, junt amb l'ajuda dels seus pares, de mantenir una higiene bucodental adequada sense signes d'inflamació del periodontal.
3. Durant els primers dies després d'haver instal·lat l'aparell el pacient pot tenir lleugeres dificultats per la deglució i fonació. A la setmana ha d'haver desaparegut aquestes limitacions.
4. El pacient pot percebre sensació dolorosa d'intensitat lleu a moderada des del moment de l'activació fins 30 minuts posteriors a aquesta.
5. L'epistaxi es de baixa freqüència i en el cas d'aparèixer ha de ser aturada amb compressió.
6. S'ha de realitzar una expansió basal, és a dir, expansió del ossos que conformen el maxil·lar superior, sense que les dents que suporten el disjuntor s'inclinin ni tinguin recessions periodontals.
7. Als 5 dies de començar l'activació s'ha d'apreciar que augmenta el ressalt posterior i l'aparició d'un diastema interincisiu superior. Si s'analitza radiogràficament, s'ha de poder observar que la sutura intermaxil·lar anterior ha augmentat en comparació amb la radiografia control.

Anexo 4.5. Certificado del seguro de responsabilidad civil del ensayo clínico.

CATLIN

CERTIFICADO

CATLIN IBERIA, S.L., branch of Catlin GMBH (Sucursal en España) con domicilio en Avda Diagonal nº 416, 1-2 de Barcelona, con C.I.F. W0048104D, en nombre y por cuenta de Catlin Insurance Company (UK) Ltd.

CERTIFICA

Que **INTERORAL VGG, S.L.**, CIF B-09520453, tiene contratada con la referida entidad, en calidad de Tomador y Asegurado, la póliza de Responsabilidad Civil Nº **CE6000343677**, que cubre la responsabilidad civil derivada del Estudio de Investigación que seguidamente se detalla:

Título : "Efectos a corto plazo de la expansión ortopédica tratada con un láser de baja intensidad en dentición mixta".

Centro: Hospital Odontològic. Universitat de Barcelona

**Investigadores: Valentín Javier García García
 Josep Maria Ustrell i Torrent
 Patricia Carvalho Lobato**

Inicio Ensayo: 11.05.2012

Final Ensayo : 11.11.2012

Nº pacientes: 20

Que en virtud del referido contrato, se garantiza al Promotor y resto de Asegurados, con un total de € 2.500.000.- como Limite de Suma Asegurada por siniestro y para la totalidad del estudio, con un sublímite máximo por sujeto de € 250.000.-

Que ateniéndose a lo previsto en el artº 18 de la Ley 14/2007 de 3 de julio, de Investigación Biomédica, y en el Real Decreto nº 223/2004 de 6 de febrero, se ampara la Responsabilidad Civil Legal del Promotor, la del Investigador principal y sus colaboradores, así como la del titular del centro en el que se efectúa el ensayo, cubriéndose los daños y perjuicios que como consecuencia del mismo puedan resultar para la persona participante en el Estudio de Investigación descrito.

Que el presente seguro extiende su cobertura hasta 24 meses después de la finalización del ensayo.

Y para que conste a los efectos oportunos, se expide el presente Certificado en Barcelona, a 9 de mayo de 2012.

EL ASEGURADOR
Underwritten by Catlin Insurance Company (UK) Ltd.
per **CATLIN Iberia**
- branch of Catlin GmbH

Catlin Iberia – branch of Catlin GmbH (Sucursal en España). Dom.Social: Av. Diagonal, 416 1º 2º 08037 Barcelona (España).

C.I.F: W0048104D

www.catlin.com

Anexo 4.5 Consentimiento informado del ensayo clínico.

UNIVERSITAT DE BARCELONA

FACULTAT DE ODONTOLOGIA. DEPARTAMENT DE ORTODÒNCIA

FULL DE CONSENTIMENT PER A PARTICIPAR EN UN ESTUDI D'INVESTIGACIÓ.

TÍTOL: Efectes a curt termini de l'expansió ortopèdica tractada amb un làser de baixa intensitat en dentició mixta.

INVESTIGADORS: Josep M^a Ustrell i Torrent (director de tesi), Patricia Carvalho Lobato (tutora de la tesi) i Valentín Javier García García (doctorand)

LLOC: Hospital Odontològic. Universitat de Barcelona. Àrea d'Ortodòncia.

CONTACTE: Feixa Llarga s/n Hospitalet de Llobregat 08907 / 93 335 80 54

Aquesta fulla de consentiment pot contenir paraules que no entengui. Si us plau, pregunti a l'investigador encarregat o a qualsevol personal de l'estudi per a que li expliqui qualsevol paraula o informació que vostè no entengui clarament.

La Mossegada Creuada Posterior és una maloclusió caracteritzada per la compressió del maxil·lar superior. En edats joves, quan el nen està en creixement, es pot realitzar una expansió d'aquest os a través de la separació de la sutura palatina. S'utilitza un aparell que es fixa al paladar i que s'ha d'activar cada dia durant un període de 2 a 3 setmanes aproximadament. Un cop s'ha produït l'expansió desitjada, l'aparell es deixa com a retenció durant 3 o 4 mesos i després es retira. En aquest estudi es vol avaluar el benefici que es pot obtenir de l'aplicació del làser de baixa intensitat. Estudis en animals i persones, així com l'aplicació d'aquest en altres àmbits de la medicina des de fa dècades, afavoreixen la bioestimulació de la formació d'os. És per aquesta raó, que el benefici de formació d'os està directament relacionat amb l'estabilitat del tractament que rebrà el seu fill, ja que la sutura que es separa s'haurà d'ossificar posteriorment.

L'estudi durarà el mateix que el tractament habitual tot i que es faran visites intermèdies per registrar la tensió que es generà amb el aparell fix i per aplicar el làser de baixa intensitat. Hi haurà una fase de registres per a diagnosticar la maloclusió i per prendre mides per construir l'aparell, una fase activa de 3 setmanes on s'haurà de fer visites per registrar dades i una fase de retenció de 3 a 4 mesos. (Total de tractament uns 6 mesos)

Es garanteix l'anonimització de les dades dels individus segons l'article 3 i 4 de la Ley 14/2007, de 3 de julio, de Investigación Biomédica i la protecció d'intimitat personal i el tractament confidencial de les dades personals que resultin de l'activitat d'investigació biomèdica, conforme al que es disposa en la Ley Orgànica 15/1999, de 13 de diciembre, de Protección de Datos de Caràcter Personal.

Els beneficis de participar en aquest estudi és la d'obtenir una expansió ortopèdica estable del maxil·lar superior evitant les recidives que es produeixen en els anys posteriors al tractament y per tant menys temps de retenció fixa.

D'altra banda els inconvenients que pot patir el nen són els propis del tractament habitual, com és el cas de l'acumulació de restes d'aliment i inflamació de les genives en dents que s'utilitzen com a ancoratge, problemes per deglutir i parlar (els primers dies d'haver fixat l'aparell al paladar), petites hemorràgies nasals, inclinació de les dents posteriors obrint la mossegada, recessions gingival, pèrdua d'os i reabsorcions d'arrels.

En el cas que el pacient no pogués acabar el tractament per qualsevol dels problemes sorgits comentats anteriorment o bé perquè decidís els pares revocar el consentiment i deixar l'estudi, es garanteix la resolució del problema del nen amb altres tractaments si es oportú o bé sense l'aplicació del làser. Si vostè decideix que el seu fill no participi en aquest estudi, hi ha altres alternatives de tractament disponible, com és el cas de utilitzar el mateix protocol però sense aplicar làser de baixa intensitat. (article 4.3 i 4.4 de la llei 14/2007)

El patrocinador del estudio adoptarà les mesures per assegurar una compensació en cas de patir danys amb un total de 2.500.000 de euros com a Límit de Suma Assegurada per sinistre y per la totalitat de l'estudi, amb un sublímit màxim per subjecte de 250.000 euros.

A vostè no se li pagarà res per formar part d'aquest estudi.

Els pares o tutors del nen tenen dret a ser informat de dades de caràcter personal obtingudes en el curs de la investigació biomèdica segons l'article 4.5 e la llei 14/2007

Aquest estudi ha estat avaluat pel Comitè d'Ètica d'Investigació Clínica (CEIC) Clínica Odontològica Universitària tal com indica l'article 12 de la llei 14/2007.

L'Hospitalet de Llobregat,.....de.....de.....

Pare/mare o tutor legal

Investigador

Pacient.....DNI.....

Edat.....

Domicili.....

Pare/mare.....DNI.....

.....

Edat.....Domicili.....

REVOCO:

El consentiment prestat en data.....i no vull continuar el tractament, que en aquesta data dono per finalitzat.

L'Hospitalet de Llobregat,de.....de.....

Pare/mare o tutor legal

Investigador

Anexo 5.6. Descriptivos de los 40 pacientes del estudio.

ID	PACIENT E	SEXO	EDAD	ROSTRO	TIPO_ROSTRO	LÁSER	A_Moime							B_Moime											
							T1_A	T2_A	T3_A	T4_A	T5_A	T6_A	T7_A	va	no_recid	ka	T1_B	T2_B	T3_B	T4_B	T5_B	T6_B	T7_B	va	no_recid
1	Daniel Pel	0	5,83	-0,5	1	1	918	2487,73	2324,39	2635	4678,54	4607,52	2153	1	5	484,33	1781,01	2946,56	3975,32	4192	4934,9	4611	0	1	4
2	alva more	1	10,33	-0,8	1	1	301	1939,25	1770,78	1517,89	3140,86	3994,22	4460,21	0	1	134	1461,88	1403,34	3103,51	3010,67	2303,84	2228,87	1	1	4
3	javi perez	0	5,08	0,1	2	1	83	515	422,26	2084	1551	1803	1492	1	3	332	544	1960	2766	2935	3862	1757	1	1	6
4	raquel lola	0	8,58	1,5	3	1	11	46	16	16	166	57	1418	948	1	6	133	194	161	311	1435	548	0	1	6
5	adriana r	1	8,58	0,2	2	1	212	1131	1096	1051	2356	905	178	1	5	78	167	183	332	580	1694	2118	0	1	5
6	carla olim	1	7,75	1,5	3	1	20	2464	3940	5012	9688,85	10924,5	7427	1	6	2242,12	3221	3498,76	6614,76	16505,9	8936,9	6345	1	1	5
7	e va villar	1	7,00	-0,3	1	1	179	598	1036	1280	2055	3382	430	0	1	134	442	637	872	753	2129	1876	1	1	6
8	andrey d	0	12,50	0,9	3	1	180	424	1541	2033	1617	1224	485	1	4	161	677	673	880	174	212	45	1	1	2
9	victor cue	0	9,42	1,6	3	1	332	1839,65	2233,85	5207,61	4757,88	1440	601	1	4	191	1306,11	4144,87	8815,65	5703,44	3621	3485	1	1	4
10	jana sakh	1	9,89	1,3	3	1	693	220	2932	7011	5191	4263,27	2953	1	4	219	4440	3468	2010	2995	160	110	1	1	2
11	junglin cin	0	8,42	-0,3	1	1	475	880	8916	871	6306	6188	5928	1	4	1043	1854	4594	7205	6252	4885	1896	1	1	4
12	elihu bota	0	6,67	0,1	2	1	557	852	1307	3352	3611	3785	3654	0	3	36	2042	2648	2711	2776	2795	2956	0	1	5
13	gerard vel	0	9,08	-0,4	1	1	97	280	670	1000,48	1002,67	1076,88	2309	0	3	38	38	819	1288,23	1763	1779	1681	1	1	6
14	noemi pel	1	7,33	-0,4	1	1	54	713,34	1252	1876,45	4531	6888	8368	0	6	387	5060	5777	1122,26	13659	14608	14506	1	1	6
15	luc rambo	0	11,17	1,6	3	1	101	792	1440	1767	2256	8880	6370	1	6	484	634	1969	1782	1711	1348	70	1	1	3
16	santi	0	8,58	0,2	2	1	107	1885	2710	9676	16587	13400	10855	1	5	5	40	83	204	3868	442	440	1	1	5
17	toni	0	8,83	0,7	3	1	214	873	939	983	814	2035	3105	0	5	59	2875	3422	4219	4888	4838	3726	1	1	5
18	pau	0	7,47	-0,2	2	1	157	2958	3977	4281	4911	6923	9393	0	5	57	2787	5112	4137	4453	3011	5721	0	1	6
19	ernesto	0	12,42	1,5	3	1	494	607	797	1150	2109	2508	2674	0	4	424	579	802	980	1711	2404	1458	1	1	6
20	arabel	1	6,75	0,6	3	1	182	392	430	585	1708	1237	1186	1	5	328	485	577	806	1057	4940	5011	0	1	5
21	lucia	1	7,58	0,2	2	0	1823	4789	5489	12411	13033	18023	20445	0	4	415	2891	2046	3285	3617	3172	2485	1	1	5
22	sara	1	7,08	0,8	3	0	708	2342	2546	2580	4361	7180	9313	0	3	282	5137	5944	6646	4537	1712	1688	1	1	4
23	nalia	1	8,25	1,8	3	0	274	1394	1087	1041	910	947	805	1	2	175	273	432	381	203	380	1005	0	1	4
24	javier perez	0	11,00	0,1	2	0	137	787	1076	2575	2885	2585	2888	0	1	161	2622	2688	2705	2883	2800	3210	0	1	6
25	alba lopez	1	11,58	-0,2	2	0	1830	2548	2600	2785	2789	2807	3015	0	3	34	316	511	1231	1208	1511	1303	1	1	6
26	daniel lro	0	6,58	2,2	3	0	152	288	290	283	342	468	987	0	1	128	1776	1890	2266	2516	2532	2203	1	1	6
27	elena	0	10,08	-0,2	2	0	75	192	456	767	751	910	1107	0	1	119	1169	1245	1884	1892	1180	865	1	1	5
28	aliquid	1	6,58	-0,6	1	0	122	2678	2025	782	1226	642	42	1	2	94	4836	6482	7217	7844	7461	6402	1	1	5
29	veronica	1	7,89	-0,6	1	0	112	215	3239	4330	3804	2813	968	1	4	3	5	28	1617	2661	3688	3737	0	1	5
30	anar	0	9,00	2	3	0	488	787	1035	1772	2045	2386	2407	0	1	154	923	1131	1652	1480	1188	872	1	1	4
31	maria	1	7,67	-0,5	1	0	103	377	208	176	277	1384	1627	0	1	516	1052	1165	1310	976	893	236	1	1	4
32	eulalia	1	9,58	1,5	3	0	64	116	349	484	1352	2427	2149	1	6	74	1849	2545	3056	2527	3634	3208	1	1	6
33	laura mira	1	8,42	0,5	3	0	619	1090	1122	1141	1046	968	410	1	4	1414	1644	1776	1881	2106	2176	2474	0	1	5
34	una milian	0	9,83	0,5	3	0	464	946	1072	1041	3857	6010	20470	0	2	202	2045	2248	2650	2930	2817	2241	1	1	5
35	diana	1	7,67	0,9	3	0	211	878	1005	1327	2823	1731	1088	1	5	362	54	45	14	63	288	454	0	1	6
36	bruna	0	8,17	-1,1	1	0	53	293	555	635	1805	1567	1630	1	5	150	1739	1987	2216	2365	3332	2747	1	1	6
37	jorge	0	11,42	0,1	2	0	231	1393	1624	2800	5224	7497	7301	0	1	109	2511	2698	2851	3367	3630	3485	1	1	6
38	aylen	1	7,33	1,4	3	0	27	685	1123	1886	1380	1879	570	1	4	586	641	405	375	228	33	31	1	1	2
39	cara	1	7,67	-0,6	1	0	396	3418	4098	4329	4649	4676	5015	0	2	293	4218	6547	8093	11750	13386	16505	0	1	6
40	carolina	1	4,75	-0,4	1	0	781	2353	2634	2823	2202	2176	2058	1	4	155	3073	3872	4408	3433	4818	4447	1	1	6

En donde se define a N (total muestra) como Sexo 0 (hombre) y Sexo 1 (mujer), Rostro como el Coeficiente de Variación de Vert y el Tipo_Rostro 1 (dolicocefálico), Tipo_Rostro 2 (mesocefálico) y Tipo_Rostro 3 (braquicefálico). Se indica si pertenece a Láser 1 (grupo de pacientes irradiados) o es Láser 0 (del grupo placebo). Los registros en cada uno de los momentos para el brazo A T1_A – T7_A y para el brazo B T1_B – T7_B y por último si recidivaron en el brazo A (A_Recidiva 1), en el brazo B (B_Recidiva 0), si no recidivaron en el brazo A (A_Recidiva 0) y en el brazo B (B_Recidiva0) y el momento en el que lo hicieron para el brazo A (A_Momento_Recidiva 2-6) y en el brazo B (B_Momento_Recidiva 2-6).

Anexo 5.7. Descripción de la fuerza predicha en los pacientes del estudio.

ID	PACIENTE	A_Momento							A_Recidiva	B_Momento							B_Recidiva
		T1_A	T2_A	T3_A	T4_A	T5_A	T6_A	T7_A		T1_B	T2_B	T3_B	T4_B	T5_B	T6_B	T7_B	
1	Daniel Per	14.6565	23.4402	-22.9559	-48.2339	12.9279	-0.41899	-73.914	0	138.765	20.3327	64.3629	95.4258	68.8806	81.989	119.627	0
2	aliba more	5.6864	-4.29235	11.8648	-56.8272	2.9949	57.1663	76.0322	0	134	1461.98	1405.54	3120.31	3010.67	2300.94	2220.87	1
3	joel peres	-8.75181	-1.27898	77.0851	-24.995	-49.2046	-76.4409	-55.3509	1	10.3203	10.4101	-3.14869	62.0988	77.2182	109.224	77.079	1
4	raquel ligle	-4.27279	-5.20017	-6.02416	0.0546	6.31798	33.6534	13.5094	0	4.51592	6.07399	6.37567	2.88336	1.44793	-8.9327	3.12531	1
5	adriana ro	4.57791	33.1862	31.3703	24.608	60.9178	-28.0616	-67.946	1	-0.8786	-13.4940	-12.3241	-6.28175	-20.2556	44.4	7.18667	1
6	carla olme	-77.1028	-27.7435	-38.2306	-58.6347	-243.436	84.8925	34.0278	1	78.3303	71.6762	64.7621	148.023	417.688	107.535	97.0612	1
7	eva willave	1.48195	5.14902	13.4922	16.4056	44.4834	42.0876	87.0792	0	1.66996	5.37888	4.72992	6.24442	-8.60922	17.3046	-10.5299	1
8	andrey do	-0.1172	-9.06696	29.5877	49.7761	49.6402	34.7672	15.4851	1	2.95089	16.6754	-2.62352	-1.43514	-21.578	-13.4936	-6.89788	1
9	victor cue	4.76107	-2.61516	-57.9947	8.97756	-34.1387	-84.0192	-101.496	0	1.06213	35.5471	103.33	159.916	119.459	110.462	113.303	1
10	joana saiv	16.2227	-147.714	-18.1864	17.1315	74.1058	142.089	97.9207	1	-4.13888	153.282	71.3576	-49.1451	16.947	-67.838	-46.7554	1
11	jugencha	-20.1108	-34.5708	128.355	43.3733	-1.35196	39.2414	136.58	0	28.7472	52.3106	18.1613	107.861	112.998	70.0326	-33.1883	1
12	elihu bota	17.9365	-42.0599	-47.6102	20.0081	27.6943	32.6811	29.0786	1	-0.31946	-3.45806	17.4793	28.783	45.8731	45.3147	19.8604	1
13	gerard ver	97	2.01377	8.32043	-5.55582	-10.9284	-27.8085	-26.8308	1	38	38	819	1298.23	1783	1779	1681	1
14	noemi pel	-11.6749	-152.398	-158.912	-327.979	-328.59	-270.078	-218.986	1	12.7631	166.752	182.876	364.912	412.521	396.859	369.6	1
15	luc ramba	-13.4479	5.11928	-19.2426	-1.43272	17.9028	25.888	21.079	1	15.3882	8.8429	44.9519	32.7288	21.8306	-104.617	-106.775	0
16	santi	3.51262	67.0093	90.4907	328.325	370.18	44.634	331.132	1	-1.65827	-32.6295	-43.5428	-158.735	-78.7997	-214.186	-156.887	1
17	toni	5.31139	-73.9693	-86.64	-113.688	-146.445	-100.895	-23.2816	1	-1.58928	90.614	104.598	132.379	162.514	138.947	78.5286	1
18	pau	3.41697	3.7716	-62.4197	2.88659	13.4955	63.3174	123.607	1	-0.67843	48.1949	122.907	72.9146	73.2874	58.5179	41.2701	1
19	ernesto	0.81598	0.87726	-0.59447	7.10388	2.27976	41.1573	11.173	2	7.21159	9.85806	14.6998	13.1733	24.3518	42.0562	5.71224	1
20	anabel	-5.2001	-3.45427	-2.92445	-8.03045	21.882	-109.188	-134.395	1	8.45863	10.4327	10.9236	18.4772	8.09544	132.302	156.912	0
21	lucia	48.3101	70.2304	82.6268	313.517	391.567	510.174	617.672	0	-16.5862	13.3959	13.6047	-97.3667	-129.885	-196.907	-282.747	0
22	sara	11.0385	-92.0705	-99.1727	-144.574	-7.36313	191.353	261.525	0	1.36963	138.113	145.366	191.353	85.1771	-64.4713	-99.6272	1
23	nalia	3.32187	31.5998	22.351	15.5199	24.2608	18.9953	-7.409	1	1.49091	-1.08213	-3.3619	2.73296	-8.42657	-2.44644	21.7433	1
24	joel raez	-0.90984	-64.5864	-56.9951	-5.87026	-11.7515	-12.0014	-10.3342	1	3.34536	79.2498	76.6278	51.5201	57.6449	58.0747	62.8146	0
25	albalopez	62.5667	76.7927	71.7298	53.2689	54.2092	47.3333	58.3304	1	-30.5263	-32.5396	-26.5166	-4.39264	-5.27481	3.59086	-5.61898	1
26	daniel mo	0.76132	-52.1931	-56.1115	-69.5039	-76.147	-72.4321	-43.0387	1	1.92079	57.8827	61.8809	75.3011	83.1324	81.5373	60.9894	1
27	gisela	-1.57751	-34.2707	-27.8808	-39.463	-40.2942	-10.2611	7.89543	1	2.92305	38.0578	36.2184	53.4877	54.0451	26.4864	11.6115	1
28	singrid	0.91685	-80.3533	-157.281	-225.131	-225.602	-231.84	-222.472	1	1.23264	128.67	194.91	241.702	259.975	245.831	225.736	1
29	veronica	3.75488	7.23458	111.334	92.6661	31.1308	-32.0501	-97.3475	1	-1.81477	-3.51056	-54.9041	-17.0652	32.3155	82.2036	115.586	0
30	asier	11.8105	-5.16125	-1.82188	3.28654	18.7108	40.6407	47.8462	0	3.11085	19.1514	21.2285	28.0446	17.2783	11.3639	-10.437	1
31	maria	-14.848	-24.1527	-33.545	-39.7538	-24.5909	16.4622	47.8162	1	1.68993	31.001	37.6248	43.3198	29.7731	7.85117	-19.5564	1
32	eulalia	-0.38266	-64.1716	-77.1946	-89.8838	-42.8445	-43.4639	-48.6375	0	1.51993	66.9521	84.141	99.6268	67.2603	86.9197	87.2207	1
33	laura mira	-28.1245	-19.9372	-23.4513	-26.469	-37.6127	-42.7147	-72.4023	0	39.4008	39.4585	43.5789	46.9671	56.5554	60.3521	80.4805	0
34	unai miral	8.9254	-38.9254	-46.9991	-56.1127	29.7416	108.592	627.068	1	-0.81268	56.1127	65.5626	75.1765	38.199	-3.43127	-271.807	1
35	diana	-5.38889	28.3695	33.061	45.5869	73.7177	49.2318	31.9406	1	1.98613	-1.31483	-15.6448	-22.4354	-35.5548	-19.147	-2.77235	0
36	ismael	-3.41996	-50.7266	-50.3716	-52.5719	-17.7677	-69.4314	-39.9065	1	4.39693	56.4981	60.767	67.9562	51.8618	9.4417	69.2132	1
37	joige	4.14843	-47.0619	-38.3894	-3.27413	62.6114	120.363	129.718	0	-0.10621	68.7139	67.5829	54.6477	29.3328	5.67624	-1.94386	1
38	avien	-19.9155	1.53157	2.536	51.8803	39.9284	63.3943	16.8863	1	20.6191	10.7541	-4.93439	-19.0817	-15.7746	-30.9562	-7.82187	1
39	clara	2.02057	-29.7378	-87.7635	-133.876	-260.758	-307.398	-404.113	0	4.25854	90.581	161.302	212.026	335.896	393.657	487.645	0
40	candela	21.494	-20.4648	-43.9553	-56.8886	-44.1877	-93.5263	-84.6166	1	-7.91201	65.9948	91.4452	107.507	83.6687	133.106	122.006	1

En donde se define los registros de fuerza en cada uno de los momentos para el brazo A T1_A – T7_A y para el brazo B T1_B – T7_B y por último si recidivaron en el brazo A (A_Recidiva 1) , en el brazo B (B_Recidiva 0), si no recidivaron en brazo A (A_Recidiva 0) y en el brazo B (B_Recidiva) y el momento en el que lo hicieron para el brazo A (A_Momento_Recidiva 2-6) y en el brazo B (B_Momento_Recidiva 2-6).

