BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE ESTOMATOLOGÍA

SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS DE POSGRADO

TESIS

‘‘COMPARACIÓN DIMENSIONAL DE PROTOTIPO DE ALINEADOR IMPRESO 3D DE UNA IMAGEN TOMOGRÁFICA*VERSUS* ALINEADOR TERMOFORMADO’’

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN ESTOMATOLOGÍA CON OPCIÓN TERMINAL EN ORTODONCIA

PRESENTA:

CD. ISELA MARIBEL GARCÍA RODRÍGUEZ

ID.218450005

DIRECTORA DE TESIS Y RESPONSABLE DEL PROYECTO

D.C. CAROLINA SAMANO VALENCIA

ID.100526470

DIRECTOR METODOLÓGICO

MSP. ROSENDO CARRASCO GUTIÉRREZID

100008655

DIRECTOR DISCIPLINARIO:

ESP. CARLOS GUERRERO TORRESID

100430833

ASESOR EXTERNO:

M.C. ERIC REYES CERVANTES

LECTOR

DC.MIGUEL ÁNGEL CASILLAS SANTANA

ID 100526485

PUEBLA, PUE. 22 JUNIO DE 2020

Oficio No. FESIEP/132/2020

C. Isela Maribel García Rodríguez
Matrícula:218450005
Alumno de la Maestría en Estomatología
Con opciónTerminal en Ortodoncia
De la Facultad de Estomatología
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
P R E S E NT E.

El que suscribe, ***MO. Farid Alfonso Dipp Velázquez****, Secretario de Investigación y Estudios de Posgrado de la Facultad de Estomatología de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, por este medio me permito informar austed que esta Secretaría* ***aprueba la impresión de la Tesis titulada "Comparación dimensional deprototipo de alineador impreso 3D de una imagen tomográfica versus alineador termoformado"****, misma quepresentará para realizar su examen profesional y obtener el grado de* ***Maestro en Estomatología con Opción Terminal en Ortodoncia.***

Sin más por el momento, deseándole lo mejor, le reitero mi distinguida consideración.

A t e n t a m e n t e
"Pensar bien, para vivir mejor"
H. Puebla de Z., a 22 de junio de 2020.

MO. Farid Alfonso Dipp Velázquez
Secretario de Investigación y Estudios de Posgrado
Facultad de Estomatología

Facultad de Estomatología
31 Poniente 1304, Col. Volcanes,
Puebla, Pue. C. P. 72410
01 (222) 229 55 00 Ext. 6400

BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA
FACULTAD DE ESTOMATOLOGÍA
SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN DE TESIS RECEPCIONAL

Para obtener el Grado de: **Maestría** **en Estomatología con opción terminal en ortodoncia**
Registro CIFE: 2020131 Fecha:1 julio 2020

Título de la Tesis: ‘‘COMPARACIÓN DIMENSIONAL DE PROTOTIPO DE ALINEADOR IMPRESO 3D DE UNA IMAGEN TOMOGRÁFICA VERSUS ALINEADOR TERMOFORMADO’’

Nombre del alumno: García Rodríguez Isela Maribel. **Matrícula:218450005**
Domicilio: Eugenio Mendívil 7519 col obrera 1scc. Tijuana, B. C.

Tel: _**6643498382** **Fecha de ingreso a la Facultad: 8 de enero 2018**

Firma: _____

Director de tesis: _**D.C. CAROLINA SAMANO VALENCIA: Doctora en Ingeniería y ciencia de materiales**
Adscripción: **Facultad de Estomatología** _ID: **100526470 TEL**: 4448191822

Firma: _____

Director disciplinario: **ESP. CARLOS GUERRERO TORRES** Grado académico_**Maestro en ortodoncia**
Tel: **2224600147**
Adscripción: **Facultad de Estomatología** ID: 10043083

Firma: _____

Director metodológico: **MSP ROSENDO CARRASCO GUTIÉRREZ** Grado académico: **Maestría en Salud Pública.** Adscripción: **Facultad de Estomatología** ID: **100008655** Tel: **2225053084**

Firma: _____

Lector: **DC. MIGUEL ÁNGEL CASILLAS SANTANA** Grado académico: **Doctor en Ciencias Odontológicas**

Adscripción: **Facultad de Estomatología** ID: 100526485 Tel: **4448467645**

Firma: _____

Nombre y firma de aprobación de la responsable de la Maestría en Estomatología con opción terminal en ortodoncia

MO. LAURA MONICA LÓPEZ Firma: _____

La Secretaría de Investigación y Estudios de Posgrado de la Facultad de Estomatología, autoriza la impresión de la Tesis.

MO. Farid Alfonso Dipp Velázquez

Fecha: 01 de julio 2020 **Sello** _____

DEDICATORIAS

A **MIS PADRES**, Gabriel García y Rosa Isela Rodríguez, quienes, con su esfuerzo, dedicación y ejemplo, me guiaron a edificar mi futuro para contribuir de manera positiva a la sociedad.

A **MIS FAMILIARES**, especialmente a mi abuelita Virginia Hernández, quien siempre estuvo presente y me brindó su apoyo incondicional.

A **MIS ASESORES**, DC. Carolina Sámano Valencia, MSP. Rosendo Carrasco Gutiérrez, ESP. Carlos Guerrero Torres y al Mtro Éric Reyes Cervantes por compartir su conocimiento y tiempo para hacer posible este proyecto.
Mi más sincero agradecimiento.

Al Dr. Marco Antonio Gastellum porque gracias a su apoyo desinteresado y facilitarme el material requerido fue posible terminar la presente investigación.

A **LA BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA**, quien a través de su programa de posgrado hizo realidad este gran sueño.

A **MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS**, con quienes compartí diversas situaciones y que siempre ocuparán un especial recuerdo en mi memoria.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN 9

2. ANTECEDENTES 11

2.1 *ANTECEDENTES GENERALES* 11

Apiñamiento dental 11

Set up manual 12

Alineadores secuenciados transparentes 12

Tomografía 13

Tomógrafo computarizado industrial Micro CT dual 14

Software Blue Sky Plan ® 14

Software para cambio de tomografía Blue Sky Plan ® 15

Meshmixer 15

Impresión 3D 15

Resina para impresión del alineador (Prototipos). 17

2.2 ANTECEDENTES ESPECÍFICOS 18

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 22

4. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN 23

5. JUSTIFICACIÓN 24

6. HIPÓTESIS 25

7. OBJETIVOS 26

7.1 OBJETIVO GENERAL 26

7.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 26

8. MATERIAL Y MÉTODOS: 27

8.1 Diseño del estudio 27

8.2 Muestreo 27

8.3 Criterios de selección 27

8.3.1 1 Inclusión 27

8.3.2 2 Exclusión 28

8.3.3 3 Eliminación 28

8.4 Variables e instrumentos 28
8.5 Concordancia y fiabilidad 30
8.6 Ubicación espacio-temporal 31
8.7 Fuentes de información 31
8.8 Procedimientos y técnicas de recolección 31
8.8.1 Obtención de modelos de yeso 32
8.8.3 Obtención de alineadores termoformados 34
8.8.4 Medición 34
8.9 ANÁLISIS ESTADÍSTICO *35*
8.10 LOGÍSTICA *36*
8.10.1 Recursos Humanos 36
8.10.2 2 Recursos Materiales 36
8.10.3 3 Recursos Financieros 37
9. ASPECTOS ÉTICOS: *38*
10. RESULTADOS *39*
11. DISCUSIÓN *42*
12. CONCLUSIÓN *44*
13. BIBLIOGRAFÍA *45*

RESUMEN

Introducción. En la presente investigación se desarrolló un alineador transparente impreso en 3D a partir de una imagen tomográfica CBCT con el cual se propone iniciar el procedimiento para disminuir costos en comparación de las técnicas utilizadas en desarrollar alineadores secuenciados transparentes que actualmente existen en el mercado para optimizar los tratamientos de ortodoncia en BUAP, posteriormente se comparó dimensionalmente con alineadores termoformados elaborados con los modelos de yeso tomados de los pacientes que concluyeron su tratamiento en la clínica de ortodoncia del posgrado. **Materiales y métodos**. Diseño de estudio cuasiexperimental, prospectivo, analítico, transversal. Se desarrolló un prototipo de alineador impreso en 3D a partir de CBCT al cual se le realizaron mediciones del ancho intercanino, interpremolar e intermolar y se compararon con las de alineadores termoformado y de modelos de yeso de la muestra seleccionada. Las medidas fueron obtenidas empleando un vernier digital marca FEEDBACK. **Resultados.** Los modelos de yeso presentaron las siguientes dimensiones en el ancho intercanino; 27.48mm, ancho interpremolar 1; 35.6mm, ancho interpremolar 2; 41.99mm, ancho intermolar; 46.23mm correspondientes a las cuatro mediciones, para los alineadores termoformados fueron: 27.67mm, 35.8mm, 42.15mm, 46.49mm y para los alineadores impresos 3D: 27.39mm, 35.4mm, 41.92mm, 46.08mm La comparación de los valores encontrados entre los diferentes alineadores no fue estadísticamente significativa, se destaca la similitud entre los alineadores impresos en 3D y los modelos de yeso, cuyo Coeficiente de Correlación intraclase CCI tuvo un valor de 0.9084**.** **Conclusión.** Los prototipos de alineadores impresos en 3D presentan una mayor fiabilidad dimensionalmente que los alineadores termoformados, por lo que podría ser un método confiable el desarrollo de un nuevo sistema de alineadores con este método utilizado.

Palabras clave: Alineadores, impresión 3D, Alineadores Secuenciados, Alineadores Transparentes, Tomografía Axial, Estereolitografía.

SUMMARY

Introduction. In the present investigation, a 3D printed transparent aligner was developed from a CBCT tomographic image with which it is proposed to start the procedure to reduce costs compared to the techniques used to develop transparent sequenced aligners that currently exist in the market to optimize the orthodontic treatments in BUAP, was subsequently dimensionally compared with thermoformed aligners made with the plaster models taken from the patients who completed their treatment at the postgraduate orthodontic clinic. **Materials and methods**. Quasi-experimental, prospective, analytical, cross-sectional study design. A prototype 3D printed aligner was developed from CBCT to which intercanine width measurements were made, interpremolar and intermolar and compared with those of thermoformed aligners and plaster models of the selected sample. The measurements were obtained using a FEEDBACK brand digital vernier Results. The plaster models presented the following dimensions in the intercanine width; 27.48mm, interpremolar width 1; 35.6mm, interpremolar width 2; 41.99mm, intermolar width; 46.23mm corresponding to the four measurements, for thermoformed aligners were: 27.67mm, 35.8mm, 42.15mm, 46.49mm and for 3D printed aligners: 27.39mm, 35.4mm, 41.92mm, 46.08mm. The comparison of the values found between the different aligners was not statistically significant, the similarity between the 3D printed aligners and the plaster models, whose CCI intraclass Correlation Coefficient had a value of 0.9084, is highlighted. Conclusion. Prototypes of 3D printed aligners have higher dimensional reliability than thermoformed aligners, so developing a new aligner system with this method could be a reliable method.

Key words: Aligners, 3D printing, Sequenced Aligners, Transparent Aligners, Axial Tomography, Stereolithography.

1. INTRODUCCIÓN

Junto con el avance tecnológico general la ortodoncia va desarrollando nuevos sistemas de corrección y alineamiento dental, efectivos, estéticos, en menor cantidad de tiempo y con excelentes resultados. Esto, debido a la creciente demanda para disminuir el número de visitas de los pacientes al consultorio, el tiempo que tardan dentro de este, la comodidad y estética del procedimiento dental sin sacrificar la efectividad.

Por ello se han desarrollado diferentes sistemas que tratan de cumplir estas exigencias de los pacientes, entre ellos se encuentra el sistema de alineadores secuenciados transparentes, los cuales son realizados a medida del paciente, diseñados y fabricados con ayuda de un ordenador (CAD/CAM), que escanea la impresión de polivinilsiloxano para formar un modelo tridimensional, qué se irá modificando gradualmente y sobre éste se fabricarán una serie de alineadores transparentes secuenciados para corregir las mal oclusiones del paciente.

Las ventajas que tenemos con este método son: estética máxima en tratamientos ortodóncicos, es removible, proporciona una mayor comodidad, mejora la higiene oral, permite realizar movimientos diferenciales, visualizar los objetivos del tratamiento, permite conocer el tiempo de tratamiento y es ideal para personas alérgicas a metales.

Pero como todo tratamiento también encontramos algunas desventajas:

Limitación de movimientos, planificación previa del tratamiento y modificaciones con un costo adicional, precio elevado en comparación con otros tratamientos ortodóncicos, o correlación entre set-up virtual (Clincheck®) y la realidad.

Además, para realizar un tratamiento con este sistema, es necesario enviar las impresiones a las instalaciones de la compañía que se encuentran fuera de Puebla, y a un costo elevado. Lo anterior, motiva a buscar una alternativa más accesible y económica. En esta investigación tecnológica se propone evitar la impresión en 3D de modelos que son utilizados como las guías para realizar los alineadores secuenciados transparentes como en el procedimiento que actualmente utilizan las compañías. La

alternativa propone solo la impresión del alineador con el equipo de impresión Anycubic Photon 3D a partir del Diseño creado en la Tomografía axial del centro Radiológico de la Facultad de Estomatología de BUAP y el escaneo de modelos de pacientes de la clínica del posgrado de Ortodoncia y de esta manera eliminar el paso más costoso y reducir el tiempo del proceso. En este proyecto además se realizó una comparación dimensional con los prototipos de alineadores impresos en 3D y acetatos termoformados: las medidas obtenidas se compararon para conocer el grado de confiabilidad que brinda la impresión de alineadores en 3D con el método utilizado.

2. ANTECEDENTES

2.1 ANTECEDENTES GENERALES

Apiñamiento dental

El apiñamiento dental es un problema que se puede encontrar desde el inicio de la dentición, junto con otras alteraciones, que pueden necesitar correcciones para evitar problemas que afecten la oclusión, el desarrollo de la misma y el progreso de una maloclusión (1).

Durante siglos la humanidad ha sido afectada por el apiñamiento dental. Weingerber indicó que en el pasado se mencionaba como apariencias desagradables las producidas por “dientes apiñados”; y esto se menciona en los escritos de Hipócrates, Aristóteles, Celso y Plinio, citados por Mayoral (2).

Se define al apiñamiento como un proceso fisiológico que puede ocurrir tanto endentición decidua como en definitiva, en el cual el espacio disponible en las bases óseas,tienen un menor tamaño que el de los dientes o espacio requerido y por consecuencia, durante la formación de las coronas, el apiñamiento dental será un acontecimiento obligatorio (1).

Varios factores pueden ser responsables de su etiología tales como el medio ambiente y factores genéticos, las dimensiones y ancho del arco dental, longitud del arco, perímetro del arco, ancho mesiodistal de los órganos dentarios, cualidades hereditarias, raza, sexo, etc. (3)

El apiñamiento dental ha recibido varias clasificaciones, Van der Linden lo clasifica de la siguiente forma:

- Apiñamiento Primario: Problema de volumen entre dientes grandes y bases pequeñas o una combinación de ambas (discrepancia entre longitud de arcada disponible y longitud de arcada necesaria).

- Apiñamiento Secundario: Por pérdida prematura de dientes temporales, beneficiando la migración mesial de piezas contiguas.
- Apiñamiento Terciario: Entre los 15 y 20 años coincidiendo con los últimos picos de crecimiento y la erupción de los terceros molares.

También se cuantifica diciendo que es leve, cuando se necesita uno o dos milímetros por hemiarco, moderado al necesitar de tres a cinco milímetros en cada hemiarco y severo al exigir más de cinco unidades milimétricas por hemiarcada (1).

Existes diferentes técnicas para eliminar el apiñamiento dental entre ellas se encuentran los brackets convencionales, de auto ligado, cerámicos, linguales y los alineadores secuenciados transparentes que son realizados a medida, con un diseño y fabricación asistidos por tecnología 3D (cad/cam) (4).

Set up manual

El Dr. Kesling crea la técnica de “set up” en 1945 la cual consiste en cortar individualmente los dientes de un modelo de yeso y recolocarlos en la posición deseada, para posteriormente realizar un Essix termo sellado (alineador transparente) y mover los dientes en la posición del “set up”, uno de los inconvenientes es que generalmente se requiere nuevo modelo del “set up” para cada movimiento, ya que deben realizarse gradualmente, esto implica varias impresiones del paciente, más visitas al consultorio , mucho tiempo y trabajo por parte del ortodoncista (5).

Alineadores secuenciados transparentes

Otro desarrollo del tratamiento de la ortodoncia invisible es la terapia con alineadores transparentes secuenciados transparentes,En 1998, Align Technology (Santa Clara, California) (6) introdujo Invisalign®, marca líder en el mercado actualmente. El tratamiento de alineador transparente se divide en dos categorías básicas. La primera categoría consiste en aparatos termoformados, a veces conocidos como Essix Retainers (Raintree Essix, Dentsply Corp., York, PA), que se realizan mediante ajustes a las posiciones de los dientes en los modelos y fabrican uno o más alineadores para tratar una maloclusión (7).

El Invisalig® está hecho de un material plástico transparente y delgado formado con técnicas de laboratorio CAD-CAM. Los alineadores son análogos a las férulas que cubren las coronas clínicas y la encía marginal. Se planifica que cada alineador mueva los dientes un máximo de aproximadamente 0.25 a 0.3 mm durante un período de 2 semanas. Se requiere una observación excelente, ya que el aparato debe usarse un mínimo de 20 a 22 horas al día y cada alineador debe usarse 400 horas para que sea efectivo (7).

Invisalign® fabrica con precisión numerosos alineadores para dientes con una precisión relativa para proporcionar tratamiento de ortodoncia. Utiliza tecnología 3D computarizada para visualizar y mover los dientes en un modelo virtual. Esta tecnología junto con los avances en la impresión 3D y la eficiencia de fabricación permitieron que los alineadores se produjeran en grandes cantidades y de manera oportuna (8).

Tomografía

A fines de la década de 1990 se incorporó a la odontología la tomografía computarizada de haz cónico (CBCT, del inglés cone-beam computed tomography), con aplicaciones en distintas especialidades, incluyendo la implantología. Entre las múltiples ventajas de la CBCT destaca su menor dosis de radiación en comparación con la tomografía computarizada médica, pero a la vez esta dosis es mayor que la utilizada en técnicas radiográficas convencionales (9).

El uso de la TAC 3D Cone Beam en el área de Ortodoncia brinda información con mayor precisión de las diferentes estructuras dentales, así como los diversos tejidos que los rodean, ya que la imagen obtenida tiene una menor distorsión de la imagen que los estudios radiográficos convencionales que proporcionaban únicamente imágenes bidimencionales (10).

El volumen tridimensional de los datos es adquirido en el curso de un solo barrido del escáner, usando una simple y directa relación entre sensor 2D y fuente de radiación que rotan sincrónicamente alrededor de la cabeza del paciente. Dependiendo del tipo de escáner utilizado, la fuente de rayos X y el detector rotan entre 180 y 360 grados alrededor de la cabeza del paciente. La mayoría escanean la cabeza del paciente

sentado o de pie. El haz de rayos es de forma cónica y obtiene un volumen de datos cilíndrico o esférico, descrito como field of view (FOV). El tamaño del FOV es variable, escáneres CBCT de gran volumen son capaces de capturar el esqueleto maxilofacial completo. Algunos escáneres CBCT también permiten realizar ajustes en la altura del FOV cilíndrico para capturar sólo una zona específica (11).

Tomógrafo computarizado industrial Micro CT dual

El sistema XT H 450 ofrece la potencia necesaria para penetrar piezas de alta densidad y generar un volumen de Tomografía Computarizada (CT) sin dispersión con precisión micrónica. El sistema está disponible con pantalla plana o una matriz lineal curva patentada (CLA) para optimizar la captura de los rayos X sin captar rayos dispersos no deseados.

Este detector lineal logra imágenes de nitidez y contraste excepcional, ya que evita la contaminación de la imagen y la reducción de contraste asociada.

Ventajas: Fuente de rayos X con microfoco patentada de 450 Kv, ejecuta inspecciones de alta precisión, operación fácil del sistema con bajo costo de propiedad, imágenes 3D sin dispersión, procesamiento de volumen y adquisición de imágenes de alto rendimiento y automatización sencilla de la inspección.

Aplicaciones: Inspección de gran cantidad de materiales, inspección micro CT de materiales densos (12).

Las imágenes de TC y CBTC se obtienen en un formato electrónico con terminación. DICOM que deben ser introducidas en diferentes softwares para analizarlas, procesarlas y modificarlas, haciendo posible su uso para diversas aplicaciones incluyendo la impresión 3D.

Software Blue Sky Plan ®

Blue Sky Plan® es un software para computadora basado en Windows y Mac diseñado para colocación de implantes quirúrgicos y planificación de tratamientos de Ortodoncia,

que permite visualizar en una vista 3D modelos escaneados, tomografías, fotografías extraorales e intreorales, con la finalidad de realizar un diagnóstico con mayor exactitud, ya que el software cuenta con herramientas que permiten mediciones angulares y longitudinales que servirán para conocer las discrepancias reales en el paciente y con ello, elaborar un adecuado plan de tratamiento.

Blue Sky Plan® convierte la CBCT en un formato que permite al Ortodoncista evaluar la anatomía topográfica del maxilar y la mandíbula, así como analizar morfología y tamaño de los órganos dentales. Las imágenes CT o CBCT del paciente se almacenarán en formato DICOM y el software convierte estas imágenes permitiendo visualizar las estructuras anatómicas. Estos datos también pueden usarse para una planificación precisa un tratamiento prequirúrgico (13).

Software para cambio de tomografía Blue Sky Plan ®

Para convertir las imágenes obtenidas de las CBCT del formato. DICOM a formato. STL se utiliza el software Blue Sky Plan (13) para después usar el software MeshMixer y limpiar las imágenes 3D en formato STL y hacer posible la impresión en 3D.

Meshmixer

Es un software de última generación para trabajar con mallas triangulares, limpiar un escaneo 3D, hacer impresión 3D o diseñar un objeto que se ajuste otro. Meshmixer es capaz de exportar el diseño a formatos tales como STL, OBJ o PLY entre otros. Y una vez exportado el archivo modificado al formato correcto, es posible imprimir utilizando una impresora 3D (14).

Impresión 3D

Al observar las especialidades dentales, se hace evidente que la atención en la impresión 3D se centra principalmente en aplicaciones en cirugía oral y prótesis, seguida de ortodoncia.

El proceso completo de la tecnología de fabricación aditiva se puede dividir básicamente en cuatro pasos:

(1) crear un modelo digital en 3D diseñado con un software o, mediante el uso de exploraciones intraorales o datos de tomografía computarizada.
(2) procesamiento y corte del modelo 3D en muchas capas bidimensionales.
(3) impresión del producto final 3D capa por capa.
(4) Posprocesamiento del objeto impreso (15).

En la BUAP, en el área de Dirección de Innovación y Transferencia de Conocimiento (DITCo) se cuenta con una impresora 3D de resina fotopolimerizable del sistema ANYCUBIC Photon la cual, cuenta con las siguientes características (16):

Sistema de impresión	ANYCUBIC Photon
Software	ANYCUBIC Photon slicer (Atomatic Support Generation)
Operación	2.8 pulgadas pantalla TFT color
Conectividad	Memoria USB
Resolución XY	47 micrones (2560*1440)
Exactitud del eje Z	1.25 micrones
Espesor de capa sugerido	25-100 micrones
Velocidad de impresión sugerida	10-20 mm/hora
Fuente de luz	UV –LED (longitud de onda 405 nm)
Potencia nominal	40 W
Materiales	405 nm UV-Resina
Dimensiones	220 largo, 200 ancho, 400 alto

La impresión 3D en ortodoncia, se utiliza principalmente para la producción de alineadores ortodóncicos y así corregir los dientes desalineados. Estos alineadores pueden ser removidos en cualquier momento por el paciente (17). El método actual que utilizan las compañías que fabrican estos alineadores, es colocar los dientes digitalmente en la posición deseada mediante un software para después crear un modelo 3D, se imprime el modelo utilizando el método de estereolitografía, en el que el producto se

construye capa por capa durante el proceso de impresión y a partir del molde terminado, el alineador ortodóncico se moldea con un acetato (18).

Resina para impresión del alineador (Prototipos).

En el método tradicional se utilizan resinas para imprimir los modelos físicos con los que posteriormente se fabricaran los alineadores transparentes, pero el manejo de estas resinas resulta peligroso ya que están son tóxicas y necesitan de un procedimiento especial para que sea posible su manipulación.

Para la realización de este proyecto se utilizó la resina de ANYCUBIC translusent UV clear con las siguientes especificaciones: (19)

Material principal: monómero de resina y fotoiniciador.

Parámetros de exposición: tiempo de exposición inferior(s) 20-60s, tiempo de exposición normal 5-15s.

Parámetros de resina:

- Longitud de onda de solidificación: 405 nm
- Dureza (D): 79.0
- Viscosidad (25 C): 552.0 mpa.s
- Densidad del líquido: 1.100g/cm
- Densidad sólida 1.184g/ cm
- Resistencia a la tracción: 23.4 Mpa
- Frecuencia de alargamiento:14.2%
- Vida útil:12 meses
- Contracción: 3.74%-4.24%
- Color: translucido

En este proyecto se desarrolló un alineador impreso en 3D directamente de CBCT sin tener que construir un molde físico previo para así facilitar el proceso de producción y al mismo tiempo disminuir costos de éste, posteriormente se evaluaron las dimensiones de anchos de arcadas de los alineadores termoformados, los prototipos impresos y los modelos de yeso para evaluar discrepancias.

Se utilizó una resina alternativa a la que se había elegido inicialmente por características de biocompatibilidad, ya que la investigación se tuvo que adaptar a la situación pandémica actual y la suspensión de labores, lo cual dificultó la adquisición de dicha

resina. La resina utilizada para la elaboración de los prototipos de alineadores no afecta en los objetivos de esta investigación ya que no serán probados en pacientes **Figura 1**.

Figura 1. Resina utilizada para la elaboración de los prototipos de alineadores impresos en 3D (19).

2.2 ANTECEDENTES ESPECÍFICOS

Kesling (1945) introdujo el uso de aparatos removibles elásticos confeccionados sobre un modelo set-up, ideal del paciente como método para realizar pequeños movimientos dentarios. Este sistema consistía en un posicionador elástico de una sola pieza que cubría ambas arcadas. Ya a mediados del siglo XX Kesling predijo “El posicionador tiene otros usos aparte del perfeccionamiento final del caso y la retención. Se pueden conseguir movimientos mayores mediante una serie de posicionadores secuenciales, variando los dientes en el modelo ligeramente a medida que el tratamiento progresa. Actualmente, este tipo de tratamiento no parece ser práctico pudiéndose desarrollar la técnica para su aplicación en el futuro” (20).

Ponitz (1971), utilizó un dispositivo similar al que denominó “retenedor invisible” realizado sobre un modelo maestro que pre-posicionaba los dientes sobre una base de cera, el cual podía producir movimientos dentarios limitados (21). Posteriormente, otros autores como McNamara (1985) (22), Sheridan (1993) (5) , Rinchuse (1997) (23) Lindauer &

Schoff (1998) (24) profundizaron y desarrollaron técnicas similares. Sin embargo, la mayoría requerían del uso de toma de impresiones y modelos set-up en cada visita.

Zia Chishti y Kelsey Wirth, (1997) dos estudiantes de la Universidad de Stanford, fundaron Align Techonology (Santa Clara, California). No fue hasta 1999, cuando el sistema Invisalign® se comercializó para los ortodontistas. La primera publicación científica data del año 2000 (25).

Zhang Huiyi et al. (2018) realizaron un experimento con el objetivo de construir un modelo dental digital obtenido desde la Tomografía computarizada de haz cónico (CBCT) y realizar una impresión en 3D para posteriormente comparar la precisión con modelos tradicionales de Yeso mediante el uso de un vernier digital **Figura 2**. Obteniendo como resultado que los modelos de impresión 3D tuvieron mayor precisión en comparación con los modelos tradicionales de yeso. El modelo dental virtual fabricado a través de la impresión 3D evita la impresión tradicional, simplifica la clínica y son apropiados para la práctica clínica (26).

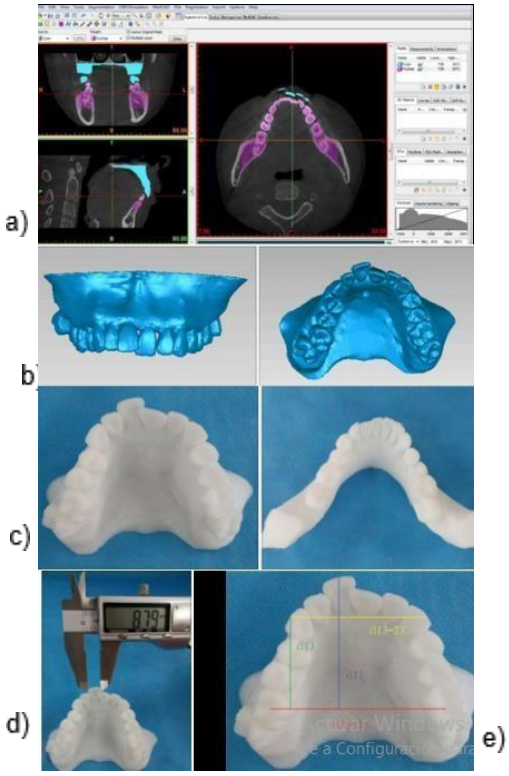


Figura 2. a) Imagen tomográfica. b) Modelos digitales. c) Modelos Impresos en 3D. d) Modelo de medición con calibrador a vernier electrónico. e) Anchura del arco, diagrama de medición (26).

Jean-Philipe Houle et al. (2017) realiza un estudio restrospectivo en el cual evalúa cambio de las arcadas en 64 pacientes antes y después de recibir un tratamiento ortodóncico con Invisalign® , en dicho estudio se obtuvieron los valores lineales de las arcadas midiendo el ancho intercanino, interpremolar e intermolar en dos puntos diferentes: márgenes gingivales y puntas de las cúspides como se muestra en la **Figura3** (27).

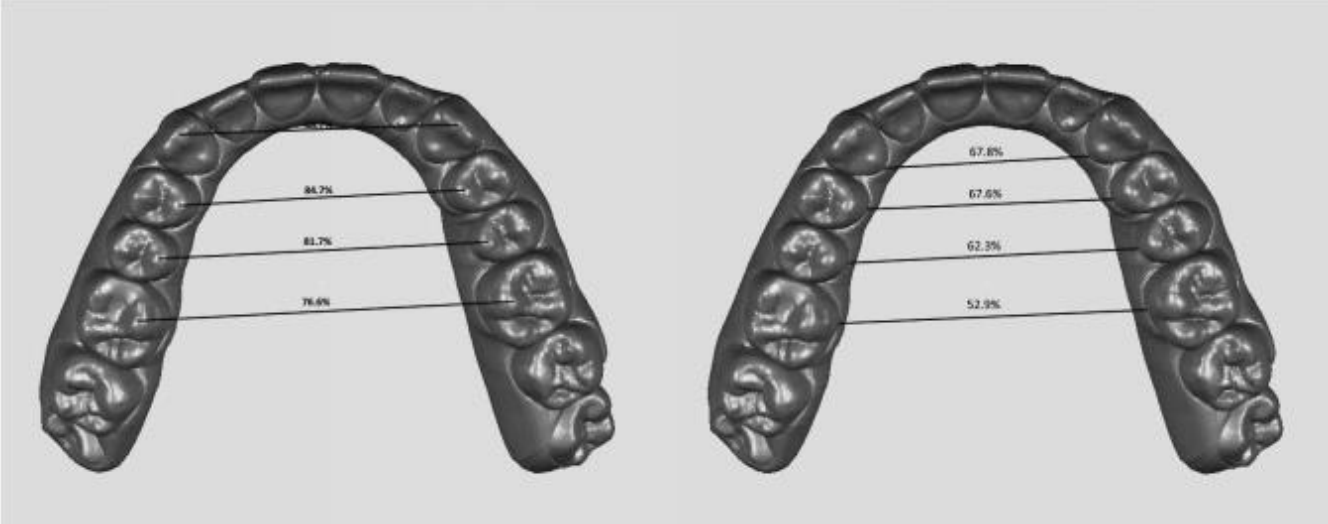


Figura 3. Mediciones del ancho intercanino, interpremolar e intermolar del documento de Jean-Philipe Houle (2017) (27).

Prasanna - Kumar Shivapuja et al. en su documento patentado el 15 de enero de 2019 describe sistema de ortodoncia que podría utilizar un concepto totalmente virtual o digital para crear alineadores impresos en 3D con ejemplos de torque, rotación y completo control del anclaje, incluye sistemas, métodos y materiales con los que deberían manufacturarse, hace mención en la posibilidad de combinar 2 materiales biocompatibles según la DIN EN ISO 10993 y los estándares de US Type VI. Hace énfasis en que las innovaciones de diseño, materiales y las mejoras en el proceso mencionados en dicho documento abren una gran cantidad de libertad de diseño y opciones para tratar al paciente en un periodo corto de tiempo y la viabilidad de resolver nuevos casos que ahora no son posibles con las técnicas con alineadores disponibles actualmente (28).

Okamoto et al. En una patente recientemente publicada en octubre del 2019 se menciona la fabricación de alineadores ortodóncicos por una impresora 3D directamente de la base de datos del paciente a diferencia de todos los alineadores existentes que primero imprimen un molde con los datos del paciente y posteriormente lo cubren con un plástico para moldear el alineador. Con la presente invención se confirma la teoría de que es posible realizar un alineador directo sin la necesidad de crear un molde macho (molde base) y de esta manera acortar el proceso y disminuir el costo también. En esta patente describen nuevos alineadores que pueden cambiar su grosor y forma libremente, en los cuales es posible controlar la magnitud y la dirección de la fuerza aplicada a los dientes y el tratamiento puede acortarse. De acuerdo con el documento mencionado se puede hacer referencia a los alineadores ortodóncicos como “alineadores directos”. (29)

La literatura acerca de la impresión directa de los alineadores en 3D es muy escasa ya que es un método innovador en la fabricación de alineadores ortodóncicos transparentes. Hasta el momento no se encuentra ningún reporte que compare dimensionalmente alineadores impresos con alineadores termoformados.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Debido a la creciente demanda y mayor exigencia de los pacientes en el área de ortodoncia hacia recibir tratamientos ortodóncicos efectivos y cada vez más estéticos, los alineadores transparentes han aumentado su popularidad. Sin embargo, su elaboración es costosa y es realizada por compañías que están haciendo su reciente aparición en México.

Actualmente existe solo un método para el desarrollo del alineador transparente el cual consiste en una serie de pasos en los que se crea una imagen estereolitográfica con los datos de la boca del paciente para imprimir un molde de resina y a partir de este crear el alineador con un plástico termo-moldeable. Esta técnica además de ser tediosa es muy costosa, tóxica y requiere de un manejo especializado.

El desarrollar un prototipo de alineador con los recursos disponibles en la BUAP representa un avance importante para poder ofrecer esta opción de tratamiento a los pacientes de la FEBUAP en el futuro.

4. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Existe alguna diferencia en las dimensiones entre un prototipo de alineador impreso y un alineador termoformado?

5. JUSTIFICACIÓN

Se ha observado un gran número de pacientes que acuden a la clínica de ortodoncia con recidivas pequeñas después de un tratamiento concluido y también pacientes con apiñamiento dental leve que demandan atención para la corrección de su problema, en la búsqueda de soluciones, se llega a la conclusión de que sus casos podrían ser efectivamente tratados con alineadores secuenciados transparentes con las ventajas de que es un tratamiento que ofrece máxima estética, mayor comodidad al paciente y una mejor higiene, por eso nace la inquietud de poder ofrecer este servicio de ortodoncia estética en la clínica de ortodoncia de la FEBUAP, pero se presentan desventajas de los sistemas que realizan estos alineadores tales como: el precio elevado y el tiempo en que podemos obtener los alineadores, ya que la mayoría de las compañías que los fabrican se encuentran fuera de Puebla y se tienen que enviar todos los registros del paciente, eso implica tiempo, sin mencionar que si se requiere hacer algún tipo de modificación, se tendría que especificar , enviar , pagar por ello ,además de esperar quellegue la nueva serie de alineadores con las nuevas modificaciones.

En esta investigación se desarrolló un alineador trasparente impreso en 3D inferior a partir de la imagen tomográfica Cone Beam de pacientes que terminaron su tratamiento ortodóncico a la Clínica de Ortodoncia de la FEBUAP y se compararon las dimensiones con alineadores termoformados inferiores realizados de los mismos pacientes.

Debido a la situación pandémica que se vive actualmente la etapa final de esta investigación fue realizada fuera de las instalaciones de la BUAP, las primeras pruebas de impresión del prototipo de alineador 3D fueron desarrolladas en el área de DITCo. y las impresiones faltantes de los prototipos de los alineadores impresos en 3D se llevaron a cabo con una impresora igual a la que se cuenta DITCo en un consultorio privado ubicado en la ciudad de Tecate en Baja California.

6. HIPÓTESIS

H1: Son similares las dimensiones entre prototipo de alineador impreso 3D de imagen tomográfica y alineador termoformado.

H0: No son similares las dimensiones entre prototipo de alineador impreso 3D de imagen tomográfica y el alineador termoformado.

7. OBJETIVOS

7.1 OBJETIVO GENERAL

- Comparar las dimensiones entre los prototipos de alineadores impresos 3D de imagen tomográfica y los alineadores termoformados.

7.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar dimensiones transversales de los modelos de yeso inferiores.
- Determinar dimensiones transversales de los prototipos de alineadores impresos 3D inferiores.
- Determinar dimensiones transversales de los alineadores termoformado inferiores.
- Comparar las dimensiones transversales de los modelos de yeso con los alineadores termoformado.
- Comparar las dimensiones transversales de los modelos de yeso con los prototipos de alineadores impresos.
- Identificar la concordancia entre las mediciones de las 2 técnicas de fabricación de alineadores con los modelos de yeso.

8. MATERIAL Y MÉTODOS:

8.1 Diseño del estudio

Cuasiexperimental, prospectivo, analítico y transversal.

Población de estudio

- Tomografías computarizadas de pacientes que acudieron a la clínica de ortodoncia de BUAP.
- Modelos de yeso inferiores de pacientes que terminaron su tratamiento de ortodoncia.
- Prototipos de alineadores impresos en 3D inferiores.
- Alineadores termoformados inferiores.

8.2 Muestreo

- No probabilístico por conveniencia secuencial.
- 10 prototipos de alineadores impresos en 3D (obtenidos de la tomografía computarizada).
- 10 alineadores termoformados (obtenidos de los modelos de yeso inferiores).
- 10 modelos de yeso inferiores de pacientes que terminaron su tratamiento de ortodoncia.

8.3 Criterios de selección

8.3.1 Inclusión

- Tomografía axial 3D Cone Beam de paciente que acudieron a la clínica de ortodoncia de la FEBUAP.
- Alineadores impresos en 3D realizados a partir de las imágenes tomográficas de los pacientes de la clínica de Ortodoncia de FEBUAP.
- Alineadores termoformados realizados a partir de los modelos de yeso inferiores de pacientes de la clínica de Ortodoncia de la FEBUAP.

- Modelos de Yeso inferiores de pacientes que terminaron su tratamiento de ortodoncia en la clínica de Ortodoncia de la FEBUAP.

8.3.2 Exclusión

- Tomografía dañada.
- Tomografía que no se pudo limpiar correctamente.
- Alineadores impresos en 3D incorrectamente.
- Alineadores termoformado visiblemente modificados.
- Modelos de yeso dañados.
- Modelos de yeso superiores.

8.3.3 Eliminación

- Tomografía que se dañó durante el procedimiento.
- Cualquier tomografía que durante el proceso no se pueda limpiar correctamente.
- Alineadores impresos en 3D que se dañaron durante el procedimiento.
- Modelos de yeso que se dañaron durante el procedimiento.
- Alineadores termoformados que se dañaron durante el procedimiento.

8.4 Variables e instrumentos

- Tomografía Axial Computarizada 3D Cone Beam de pacientes que concluyeron su tratamiento en la clínica de Ortodoncia de BUAP. (Cualitativa Nominal).
- Modelo de estudio inferiores del paciente. (Cuantitativa por razón continua).
- Prototipo de Alineador impreso en 3D. (Cuantitativa por razón continua).
- Alineador termoformado (Cuantitativa por razón continua).
- Dimensiones del prototipo de alineador impreso 3D, alineador termoformado y modelos de yeso (Cuantitativa por razón continua).

DEFINICIÓN DE VARIABLES Y ESCALAS DE MEDICIÓN

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	ESCALA Y CATEGORIAS	VALORES
TOMOGRAFIAS AXIALES CONE BEAN 3D (variable independiente)	Procedimiento computarizado de imágenes por rayos X en el que se proyecta un haz angosto de rayos X produciendo señales para generar imágenes transversales	Se utilizaron las tomografías como base para el desarrollo del prototipo del alineador impreso en 3D.	Cualitativa nominal	No aplica
MODELOS DE ESTUDIO YESO (variable independiente)	Los modelos de estudio o modelos de ortodoncia hacen referencia a una réplica exacta de la estructura dental del paciente.	Permiten que el ortodoncista tenga información detallada sobre la forma, colocación y oclusión del paciente, de manera tridimensional. Sus medidas fueron la base para comparar la fiabilidad del alineador impreso y termoformado.	Cuantitativa Por razón continua	Milímetros
ALINEADORES TERMOFORMADOS (variable independiente)	Proceso consistente en calentar lámina de termoplástico semielaborado, de forma que al reblandecerse puede adaptarse a la forma de un molde por acción de presión vacío o mediante un contramolde.	Se utilizó un vernier digital marca FEEDBACK para realizar una medición de los puntos establecidos como ancho intercanino, interpremolar e intermolar y comparar las dimensiones con el prototipo impreso.	Cuantitativa Por razón continua	Milímetros

PROTOTIPOS DE ALINEADOR IMPRESO EN 3D (variable independiente)	Alineador desarrollado con la técnica de impresión en 3D en resina fotopolimerizable a partir de una CBCT.	Desarrollado a partir de la imagen tomográfica axial 3D, se evaluará la fiabilidad mediante la medición con el alineador termoformado y el modelo de yeso. Las medidas fueron tomadas con vernier digital marca FEEDBACK.	Cuantitativa Por razón continua	Milímetros
DIMENSIONES DEL ALINEADOR TERMOFORMADO, ALINEADOR IMPRESO 3D Y MODELOS DE YESO (variable dependiente)	Se tomaron como referencia los valores lineales de las arcadas midiendo el ancho intercanino (cúspides caninas) ancho interpremolar (cúspides vestibulares de primeros y segundos molares) ancho intermolar (cúspide mesiobucal de los primeros molares) de los modelos de yeso, alineadores termoformados y prototipo impreso con vernier digital marca FEEDBACK.	Se tomaron como medidas base las dimensiones obtenidas de los modelos de yeso para compararlas con las medidas del alineador termoformado y el prototipo impreso, y de esta manera valorar discrepancias. Las medidas fueron tomadas con vernier digital marca FEEDBACK.	Cuantitativa por razón continua T de Student para grupos independientes y ANOVA. Coeficiente de Correlación Intraclase (CCI).	Milímetros

8.5 Concordancia y fiabilidad

No se realizó una estandarización para determinar confiabilidad ni concordancia por el tipo de estudio y solo se llevaron a cabo una serie de capacitaciones:

Bluesky Plan: capacitación por parte de un técnico especializado en el software.

Meshmixher e impresora 3D ANYCUBIC Photon de resina fotopolimerizable: Capacitación y ayuda asistida por parte de un técnico especializado en el software de DITCo.

Tomógrafo computarizado Industrial Micro CT: Capacitación y ayuda asistida por medio de los técnicos especializados del Centro Avanzado de Pruebas Analíticas No Destructivas FCQ-VW.

8.6 Ubicación espacio-temporal

- Dirección de Innovación y transferencia de conocimiento DITCo.
- Centro Avanzado de Pruebas Analíticas No Destructivas.
- Posgrado de estomatología con terminal en ortodoncia en BUAP.
- Centro radiológico de la FEBUAP.
- 2019-2020.
- Consultorio Dental privado DENTall ubicado en Tecate, B.C.

8.7 Fuentes de información

Fuentes secundarias: auxiliares de diagnóstico (modelos, tomografías, expediente clínico dental.

8.8 Procedimientos y técnicas de recolección

Se realizó una tomografía computarizada Cone Beam (CBTC) en formato DICOM en el área de radiología de la BUAP de paciente de la Clínica del Posgrado de Ortodoncia que ya haya concluido con su tratamiento de ortodoncia **(Figura 4)** y se analizó con el software BLUE SKY PLAN.

Figura 4. Imagen tomográfica de paciente que terminó su tratamiento de ortodoncia.

8.8.1 Obtención de modelos de yeso

Se realizaron impresiones dentales de pacientes con alginato marca Zhermarck Hydrocolor 5 (fast setting), para después ser vaciadas con yeso Whip mix Tipo III para obtener el modelo de estudio **(Figura 5)**. Siguiendo las indicaciones del fabricante en ambos materiales.

Figura 5. a) Alginato utilizado para la toma de impresiones de los pacientes; b) Yeso utilizado para la elaboración de los modelos de yeso.

8.8.2 Obtención de alineador impreso en 3D.

Se utilizó el modelo de estudio del mismo paciente para crear imágenes estereolitográficas con ayuda del tomógrafo industrial Micro CT dual de 450kV. La cual se analizó en el software BlueSky plan junto con la tomografía (CBTC) en formato DICOM y se realizó el diseño del alineador ajustando el grosor al mínimo permitido por el software de impresión a 0.05 mm, se diseñaron los soportes de los alineadores a la platina, posteriormente, se cambió de formato DICOM a STL para que fuera posible la impresión en una impresora de resina fotosensible ANYCUBIC 3D PHOTON, se ajustaron los parámetros de impresión siguiendo las indicaciones del fabricante. Se utilizaron 250 ml de resina básica translúcida fotosensible marca ANYCUBIC aproximadamente para elaborar cada alineador, el tiempo de impresión individual fue de 4 horas y de 7 alineadores juntos fue de 8 horas, se imprimieron un total de 10 alineadores. Una vez impresos los alineadores se removieron los soportes y se realizó un lavado con alcohol isopropílico para eliminar los residuos de resina no polimerizada, se procedió a colocar

las impresiones en el horno UV para asegurar la resistencia y durabilidad de la resina **(Figura 6).**

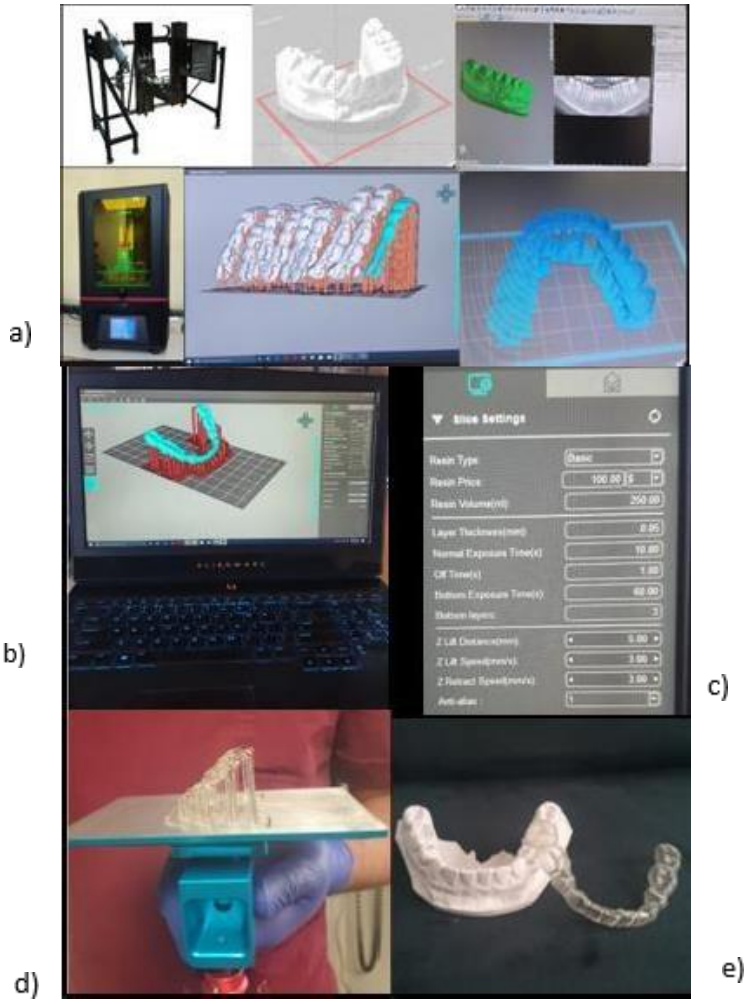


Figura 6. a) Procedimiento para obtención de alineador impreso en 3D. b) Diseño del alineador con los soportes. c) Parámetros de impresión. d) Alineador impreso en la platina. e) Imagen del alineador impreso 3D con el modelo de Yeso del paciente correspondiente.

8.8.3 Obtención de alineadores termoformados

Con los modelos de yeso inferiores obtenidos se realizaron los alineadores termoformados con acetatos rígidos transparentes marca VALDI calibre 0.060 mm y con VACUUM marca JINTAI **(Figura 7)**.

a) b)

Figura 7. a) Proceso de elaboración de los alineadores termoformados: b) VACUUM utilizado para el procedimiento.

8.8.4 Medición

Se tomaron medidas de las distancias transversales entre los dientes correspondientes del lado derecho e izquierdo de los alineadores impresos en 3D, los alineadores termoformados, y los modelos de estudio correspondientes a los pacientes del muestreo para posteriormente ser comparadas y valorar discrepancias.

Las medidas fueron tomadas con un vernier digital marca FEEDBACK de los siguientes puntos **(Figura 8).**

- Cúspide de caninos.
- Cúspides vestibulares de los primeros y segundos premolares.

- Cúspide mesio-bucal de los primeros molares (27).

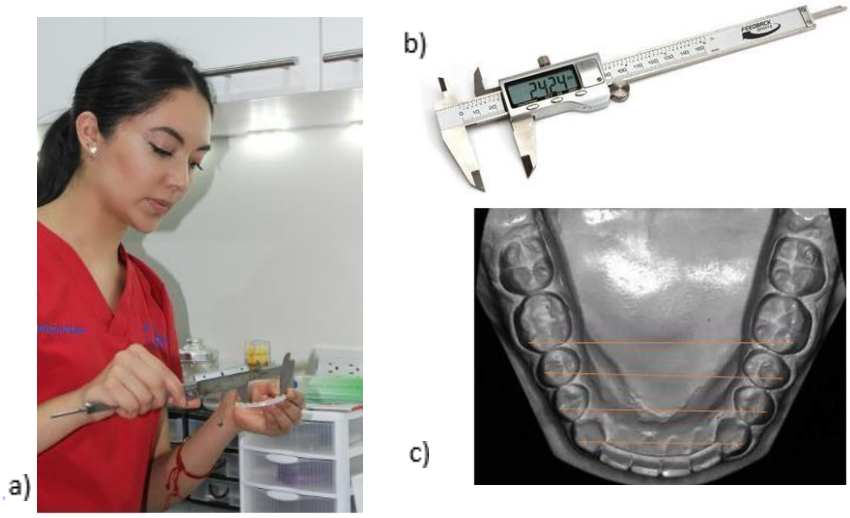


Figura 8. a) Procedimiento de medición. b) Vernier digital utilizado en la medición. c) Puntos de referencia para medición: cúspide de caninos, cúspides vestibulares de 1ros y 2dos premolares, cúspides mesio-bucales de los 1ros molares.

8.9 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se analizaron las discrepancias en las mediciones obtenidas de los modelos de yeso, los alineadores impresos y los alineadores termo formados.

Los datos fueron vaciados en paquete Excel 2016 **(Fig. 9)** para posteriormente ser depositados para su análisis en los paquetes estadísticos SPSS versión 22 y Statgraphics, se utilizó de inicio estadística descriptiva numérica con medidas de tendencia central, de dispersión y de forma, con especial atención a la asimetría y la curtosis para identificar la variabilidad de los datos, la cual después se corroboró por la prueba Shaphiro Wilk. para determinar la diferencia entre los grupos, se utilizó la T de Student para grupos independientes, estas pruebas con su respectiva significancia estadística esto es, $p < 0,05$ y se utilizó la prueba ANOVA para comparar a todos los grupos incluyendo a los modelos de yeso.

	INTERCANINO			INTERPREMOLAR 1			INTERPREMOLAR 2			INTERMOLAR		
	TECNICA 1	TECNICA 2	YESO	TECNICA1	TECNICA 2	YESO	TECNICA 1	TECNICA 2	YESO	TECNICA 1	TECNICA 2	YESO
Muestra 1												
Muestra 2												
Muestra 3												
Muestra 4												
Muestra 5												
Muestra 6												
Muestra 7												
Muestra 8												
Muestra 9												
Muestra 10												
TECNICA 1	TERMOFORMADOS											
TECNICA 2	IMPRESOS EN 3D											
	SE VAN A COMPARAR LAS MEDIDAS DE AMBAS TECNICAS PARA VALORAR LAS DISCREPANCIAS CON LOS MODELOS DE YESO											

Figura 9. Tabla de recolección de datos.

Con el resultado obtenido se evaluó que tan factible es la elaboración de este alineador impreso en 3D realizado con todos los recursos con los que cuenta la BUAP a partir de la tomografía axial computarizada que se les solicita siempre por protocolo a lospacientes de la clínica de ortodoncia

8.10 LOGÍSTICA

8.10.1 Recursos Humanos

- Tesista: Alumna de la maestría en Estomatología con opción terminal en Ortodoncia; Isela Maribel García Rodríguez.
- Directora de tesis y responsable del proyecto: D.C. Carolina Sámano Valencia.
- Director Metodológico: MSP. Rosendo Gerardo Carrasco Gutiérrez.
- Asesor disciplinario: ESP. Carlos Guerrero Torres.
- Asesor externo M.C. Eric Reyes Cervantes.
- Personal especializado en el tomógrafo industrial Micro CT.: Quim. Gabriela Esquina Arenas.

8.10.2 Recursos Materiales

- Tomografías de pacientes de la clínica de ortodoncia (CBCT) 8x8x8.
- Modelos de estudio inferiores de los mismos pacientes de la clínica de ortodoncia.
- Tomógrafo computarizado industrial micro ct dual.
- Software Blue Sky plan.
- Software meshmixer.

- Resina fotosensible marca ANYCUBIC translucent UV clear.
- Impresora de resina Fotosensible ANYCUBIC 3D PHOTON.
- VACUUM marca JINTAI.
- 10 acetatos rígidos transparentes marca VALDI calibre 0.060mm.
- Yeso Whip mix tipo III.
- Alginato Zhermack hydrocolor 5 (fast setting).
- Vernier digital marca FEEDBACK.
- Guantes de nitrilo.
- Cubrebocas.
- Alcohol isopropílico.
- Laptop ALIENWARE AREA-51m R2.

8.10.3 Recursos Financieros

Fueron aportados por el investigador gracias a la beca CONACYT.

9. ASPECTOS ÉTICOS:

Esta investigación se realizó conforme a los principios éticos del consejo de organizaciones internacionales de ciencias Médicas en colaboración con la Organización Mundial de la Salud: CIOMS/OMS (2002): y a parámetros de investigación médica manifestados por la Asociación Médica Mundial (World Medical Associoation: WMA por sus siglas en inglés), WMA (2009), así como también se apega a la Ley General de Salud. La presente investigación no representó un riesgo, ya que el proyecto se desarrolló sobre modelos de yeso e imágenes de tomografía.

10. RESULTADOS

En la **tabla 1.** Se describen los resultados de los diferentes métodos de medición. En primer lugar, se obtuvieron los valores de las mediciones transversales de los 4 puntos de referencias en los modelos de yeso, los alineadores termoformados y los alineadores impresos en 3D de los 10 pacientes.

	INTERCANINO			INTERPREMOLAR 1			INTERPREMOLAR 2			INTERMOLAR		
	TECNICA 1	TECNICA 2	YESO	TECNICA1	TECNICA 2	YESO	TECNICA 1	TECNICA 2	YESO	TECNICA 1	TECNICA 2	YESO
Muestra 1	27.7	27.64	27.62	34.41	33.4	33.41	38.5	37.8	37.7	46.35	45.55	45.29
Muestra 2	28	27.87	27.89	30.39	30.12	30.09	42.02	41.85	41.82	46.51	46.23	46.21
Muestra 3	26.61	26.32	26.3	34.8	34.52	34.5	41.72	41.44	41.42	47	46.87	46.85
Muestra 4	26.9	26.62	26.6	35.1	34.92	34.9	41.8	42.52	42.5	44.81	44.52	44.5
Muestra 5	27	26.72	26.7	35.99	35.71	35.69	41.61	41.33	41.31	44.82	44.53	44.51
Muestra 6	26.31	26.02	26.01	37.1	36.82	36.8	44.58	44.3	44.28	47.63	47.35	47.32
Muestra 7	28.92	28.63	28.61	37.51	37.2	37.2	43.39	43.11	43.09	48.31	48.02	48
Muestra 8	25.92	25.64	25.62	35.51	35.23	35.21	42.1	41.83	41.81	47.31	47.02	47
Muestra 9	30.61	30.23	30.21	40.1	39.72	39.7	44.54	44.26	44.24	49.53	49.05	49.03
Muestra 10	28.72	28.24	28.22	37.29	36.81	36.79	41.2	40.8	40.78	42.62	42.15	42.12
TECNICA 1	TERMOFORMADOS										*valores en mm	
TECNICA 2	IMPRESOS EN 3D											

Tabla 1. Resultados de las mediciones tomadas en los modelos de yeso, los alineadores termoformado (Técnica 1) y los alineadores impresos en 3D (Técnica 2).

Se observó que la diferencia entre los grupos de distancia intercanina, interpremolar 1, interpremolar 2 e intermolar no fue estadísticamente significativa, y que existe una fuerte correlación y concordancia entre las mediciones, sobretodo ente la técnica dos y yeso en donde los valores son casi idénticos (Tablas N° 2, 3, 4 y 5) (Gráficos 1, 2, 3, y 4)

Tabla N° 2 Estadística descriptiva de distancia Intercanina				
	Promedio	**Desv.Est.**	**Asimetría**	**Curtosis**
Técnica 1	27.67	1.43	1.14	0.30
Técnica 2	27.39	1.40	1.00	0.19
Yeso	27.38	1.40	0.99	0.17
Total	27.48	1.37	1.60	-0.16
p=0.875				**CCI = 0.997**

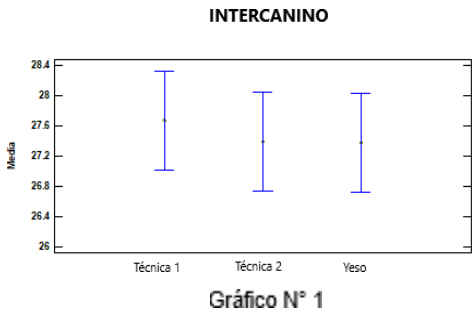


Gráfico N° 1

Tabla 2. Resultados obtenidos en las mediciones en el punto intercanino expresadas en mm con las diferentes técnicas utilizadas. Gráfico N°1. Representación gráfica de los resultados de las mediciones en el punto intercanino. Fuente: Propia.

Tabla N° 3 Estadística descriptiva Interpremolar 1				
	Promedio	**desv est**	**asimetría**	**curtosis**
Técnica 1	35.8	2.5	-0.8	1.3
Técnica 2	35.4	2.6	-0.8	1.1
Yeso	35.4	2.6	-0.8	1.1
Total	35.6	2.5	-1.2	0.9
p = 0.927				**CCI = 0.999**

FUENTE: Propia.

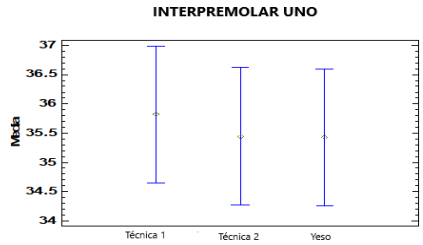


Gráfico N° 2

Tabla 3. Resultados obtenidos en las mediciones en el punto interpremolar 1 expresadas en mm con las diferentes técnicas utilizadas. Gráfico N°1. Representación gráfica de los resultados de las mediciones en el punto interpremolar 1.

Tabla N° 4. Estadística descriptiva Interpremolar 2				
	Promedio	**Desv. Est**	**asimetría**	**curtosis**
Técnica 1	42.15	1.76	-0.64	0.81
Técnica 2	41.92	1.88	-1.19	1.22
Yeso	41.90	1.90	-1.24	1.29
Total	41.99	1.79	-1.63	0.94
p = 0.946				**CCI = 0.999**

FUENTE: Propia

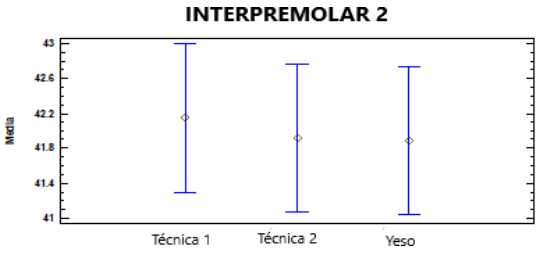


Gráfico N° 3

Tabla 4. Resultados obtenidos en las mediciones en el punto interpremolar 2 expresadas en mm con las diferentes técnicas utilizadas. Gráfico N°1. Representación gráfica de los resultados de las mediciones en el punto interpremolar 2.

Tabla N° 5. Estadística descriptiva Intermolar				
	Promedio	**DesvEstá**	**asimetría**	**curtosis**
Técnica 1	46.49	1.98	-0.71	0.28
Técnica 2	46.13	2.01	-0.82	0.26
Yeso	46.08	2.02	-0.76	0.19
Total	46.23	1.94	-1.17	-0.16
p = 0.884				**CCI. = 0.999**
FUENTE: Propia				

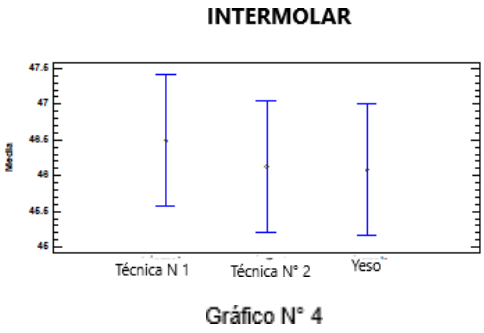
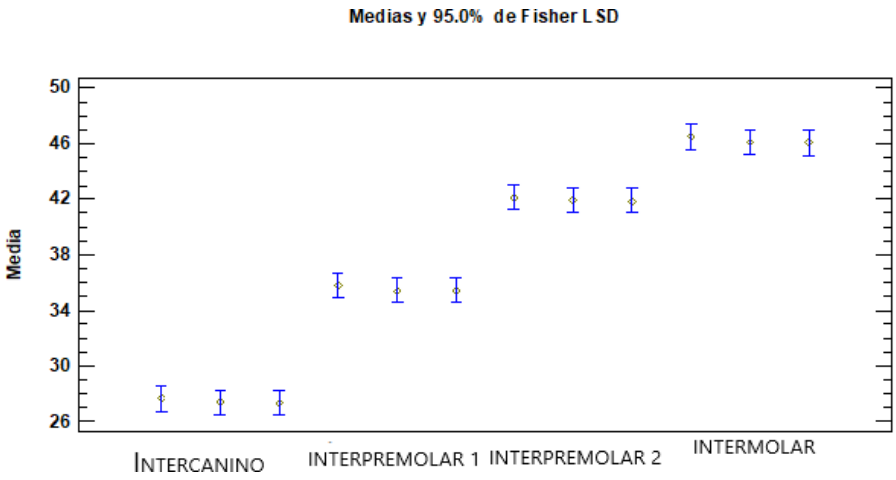


Gráfico N° 4

Tabla 5. Resultados obtenidos en las mediciones en el punto intermolar expresadas en mm con las diferentes técnicas utilizadas. Gráfico N°1. Representación gráfica de los resultados de las mediciones en el punto intermolar.

En el gráfico N° 5 se puede observar como en las distintas mediciones se sigue el mismo patrón, las técnicas N°1 presentan valores ligeramente más altos, no obstante, son valores similares al resto del grupo, dicho de otra manera, las diferencias no son estadísticamente significativas, También se observa que existe una fuerte concordancia entre las mediciones, se destaca que la similitud entre la técnica dos y el yeso, cuyo Coeficiente de Correlación intraclase CCI con valor a 0.9084 lo cual es muy alto y confirma que son idénticos.



(Gráfico N° 5)

11. DISCUSIÓN

En esta investigación se desarrolló un prototipo de alineador impreso en 3D diseñado a partir de la imagen tomográfica Cone Beam que se les solicita a todos los pacientes que son atendidos en el posgrado de Ortodoncia de la BUAP al iniciar su tratamiento ortodóncico y al concluirlo durante el periodo 2018-2019, fue creado con todas las herramientas y tecnologías disponibles en BUAP.

La muestra fue seleccionada de aquellas tomografías de pacientes que concluyeron su tratamiento ortodóncico en la clínica de ortodoncia del posgrado, que contaban con modelos de yeso y que cumplieron con los criterios de inclusión (n=10), a partir de los modelos de yeso inferiores se fabricaron alineadores termoformados, los cuales fueron comparados dimensionalmente con los alineadores impresos en 3D tomando como medidas estándar de referencia los modelos de yeso. En todos los métodos se utilizó un vernier digital marca FEEDBACK.

Zhang H et al. (2018) en su estudio realizaron una comparación de un modelo impreso desde la CBCT con un modelo elaborado con yeso. El resultado de la T de Student tuvo un valor de $p>0.5$ lo cual demostró que no existió una diferencia estadísticamente significativa y plantea la posibilidad de crear alineadores a partir de la CBCT sin la necesidad de crear un modelo físico, con los resultados obtenidos en esta investigación se confirma el grado de precisión que tienen las imágenes CBCT y por los cual fue posible crear los prototipos de alineadores impresos en 3D con dimensiones más similares a las de los modelos de yeso estando por arriba de la fiabilidad dimensional delos alineadores termoformado de acuerdo a los valores obtenidos en este estudio con un$CCI=0.9084$ (26).

En base a los resultados obtenidos en esta investigación de acuerdo con los valores lineales de los puntos de referencia similares a los descritos por Jean-Philipe Houle et al. O (2017) (27), se puede afirmar que es posible crear alineadores impresos en 3D dimensionalmente correctos a partir de un modelo virtual o como es el caso de esta investigación, un CBCT, sin la necesidad de imprimir un molde previamente como lo menciona Okamoto et al., en su patente publicada en enero del 2019 (29).

En ésta investigación se pudo observar además de los objetivos establecidos, que el material utilizado para la impresión de los alineadores impresos fue mucho menos flexible en comparación con los alineadores termoformados, por lo cual valdría la pena realizar otros estudios en los cuales se desarrolle un material de impresión con cualidades similares a las de la marca líder en alineadores secuenciados transparentes (invisaling®) que usan la técnica de elaboración con un material termoformado, así como realizar diseños con modificaciones de grosor y formas que solo serían posibles en el diseño e impresión en 3D y valorar sus efectos en pruebas *in vivo* como lo sugiere Prasanna - Kumar Shivapuja en su documento en el año 2019.

El alineador que se desarrolló en esta investigación, físicamente era muy similar a los termoformados por lo cual cumpliría con el objetivo de estética que buscan los pacientes al elegir este tipo tratamientos con alineadores secuenciados transparentes.

Se sugiere realizar más pruebas, con un mayor número de muestras y mayor número de mediciones para afirmar en su totalidad la posibilidad de imprimir en 3D un alineador funcional, así como considerar otros aspectos como las características de los materiales elegidos para la impresión de este tipo de alineadores y la relación costo beneficio de su elaboración.

De acuerdo con la bibliografía consultada para esta investigación actualmente no existen estudios similares donde se desarrolle un alineador impreso en 3D con el procedimiento utilizado en este estudio por lo cual tampoco existen comparaciones dimensionales con cualquier otro tipo de alineador.

12. CONCLUSIÓN

Los valores entre los alineadores impresos en 3D y los modelos de yeso fueron muy similares, lo que se reflejó en que la concordancia entre los grupos fuera elevada, ya que en promedio el CCI fue de 0.9084. Por lo que se acepta la hipótesis de trabajo, encontrando mayor similitud entre las dimensiones lineales de los alineadores impresos en 3D y los modelos de yeso.

El haber desarrollado el prototipo de alineador impreso en 3D representa un gran avance tecnológico para el objetivo de este proyecto el cual es desarrollar nuestro propio sistema de alineadores secuenciados transparentes con las tecnologías con las que cuenta la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, este es el primer paso y son necesarias más investigaciones para lograr por completo este objetivo , pero gracias a los resultados obtenidos se tiene claro que el camino por recorrer es ahora un poco más corto.

13. BIBLIOGRAFÍA

1. Santiesteban-Ponciano FA, Gutierrez Rojo MF, Gutiérrez Rojo F. Severidad de apiñamiento relacionado con la masa dentaria. Revista Mexicana de Ortodoncia. 2016 Septiembre; 4(3): p. 165-168.

2. E. MR. Manual de Ortodoncia Buenos Aires: Editorial Médica; 1967.

3. Jyoti Das P, Dkhar W, Pradhan A. An Evaluation of Dental Crowding in Relation to the Mesiodistal Crown Widths and Arch Dimensions in Southern Indian Population. J Clin Diagn Res. 2017 sep; 11(9).

4. Román M, Rivero J, Torre M. Extrusión con el sistema Invisaling. Ortodoncia Clínica. ; 12(3): p. 80-84.

5. Sheridan J, McMinn R, LeDoux W. Essix thermosealed appliances: various orthodontic uses. J Clin Orthod. 1995 Feb; 5(29).

6. Levrini L, Mangano A, Montanari P. Periodontal health status in patients treates with the invisaling system and fixed orthodontic appliance: A 3 months clinical an microbiological evaluation. Eur J Dent. 2015; 9: p. 404-410.

7. Kumar K, Garg V, Bhardwaj S. Review Article Invisalign: A Transparent Braces. JO Advanced Medical and Dental Sciences Research. 2018 July; 6(7): p. 141-143.

8. Wheeler TT. Orthodontic clear aligner treatment. Seminars in Orthodontics. 2017 March; 23(1): p. 83-89.

9. Carrasco Mesa A, Quibtanilla Sfeir M, Hidalgo Rivas A. Guías sobre el uso de tomografía computarizada de haz cónico en la evaluación pre-quirurgica en implantología. Scielo. 2018; 34(4): p. 183-192.

10. Gallardo. DJP. [Online].; 2019. Available from: HYPERLINK "http://www.miamiperio.com/espanol/media/boletin/los-beneficios-de-la-tomografia-axial-computarizada-verano-2014" http://www.miamiperio.com/espanol/media/boletin/los-beneficios-de-la-tomografia-axial-computarizada-verano-2014 .

11. Rabi G. Ortopantomografía versus 3D Cone Beam en la medición de la angulación mesiodistal de caninos en 30 pacientes en fase final de tratamiento ortodóncico. Santiago; 2009. Available from: HYPERLINK "URI:

http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/136520" URI: http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/136520 .

12. inc. NM. Nikon Metrology. [Online].; 2017. Available from: HYPERLINK "https://www.nikonmetrology.com/es/product/xt-h-450" https://www.nikonmetrology.com/es/product/xt-h-450 .

13. Blue Sky Plan®. [Online].; 2019. Available from: HYPERLINK "https://blueskybio.com/pages/free-treatement-planning-software" https://blueskybio.com/pages/free-treatement-planning-software .

14. Inc. A. Autodesk research. [Online].; 2017. Available from: HYPERLINK "http://www.meshmixer.com/" http://www.meshmixer.com/ .

15. Gunpreet O, Sophie N, Michael E. 3D Printing-Encompassing the Facets of Dentistry. Front Bioeng Biothechnol. 2018 nov; 6: p. 172.

16. Co. SAT. ANYCUBIC. [Online].; 2015 [cited 2019 ENERO. Available from: HYPERLINK "http://www.anycubic3d.com" http://www.anycubic3d.com .

17. Dodziuk H. Applications of 3D printing in Healthcare. Kardiochir Torakochirugia Pol. 2019 Sep; 13(3): p. 283-293.

18. Martorellin M, Gerbino S, Giudice M. A comparison between customized clear and removable orthodontic appliances manufactured using RP and CNC techniques. Dent. Mater. 2013 fen; 29(2): p. 1-10.

19. Co. SAT. ANYCUBIC 3D Printing. [Online].; 2020. Available from: HYPERLINK "https://www.anycubic.com/collections/uv-resin" https://www.anycubic.com/collections/uv-resin .

20. Kesling H. The philsophy of the tooth positioning appliance. Am J Othod. 1945 Jun; 31(6).

21. Ponitz R. Invisible reteiners. Am J orthod. 1971; 50(3): p. 266-272.

22. McNamara J, Kramer KL, Juenker JP. Invisible Retainers. J Clin Orthod. 1985; 19(08): p. 570-578.

23. Richuse D. Active tooth movement with Essix Based. J Clin Orthd. 1997; 31: p. 109-112.

24. Lindauer S, Shoff R. Comparasion of Essix and Hawley retuiners. J Clin Orthd. 1998; 32(2): p. 95-97.

25. Boyd R. Orthodontic Treatment of complex Maloclusion with the Invisaling appliance. PCSO Bulletin. 2000; 72: p. 30-32.

26. Zhang H, Yin L, Liu Y. Impresión 3D basada en modelado digital por cono de CT. Realización de modelos dentales y estudio de precisión. West China J of Stomatology. 2018 Apr; 36(2).

27. Houle JP, Piedade L, Todescan RJ. The predictability of transverse changes with invisaling. Angle Orthod. 2017 Jan; 87(1): p. 19-24.

28. Shah PKSSS, inventor; Patent US, assignee. Direct 3D-printed orthodontic aligners with torque, rotation, and full control anchors. U.S patent US 10 , 179 , 035 B2. 2019 enero 15.

29. Okamoto KMHNKMH, inventor; Orthodontic aligner and method for producing same. Japon patent WO2019193650A1. 2019 Oct 10.