

**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE  
PUEBLA**

**FACULTAD DE ESTOMATOLOGÍA**

**SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS DE POSGRADO**

***“Ajuste de alineadores termoformados sobre modelos 3D con el  
uso de vibraciones de alta frecuencia”***

**TESIS**

**Presentada para obtener el grado de:  
Maestría en Estomatología con Opción Terminal en Ortodoncia**

**PRESENTA:**

**DIANA BARREDA MONTALVO**

**ID 223450006**

**DIRECTOR DE TESIS**

**M.O. Laura Mónica López Pérez Franco ID 100527897**

**ASESOR DISCIPLINARIO:**

**M.O. Alejandro Andrade Torres ID 100426177**

**ASESOR METODOLÓGICO:**

**D.C. Miguel Ángel Casillas Santana ID 100526485**

**LECTOR:**

**M.C. Mauro García Solano ID 100426011**

**Puebla de Zaragoza, Puebla, Junio 2025**



## I. DICTAMEN DE APROVACIÓN DE TESIS



Oficio No. FESIEP/CIFE/089/2025

C. Diana Barrera Montalvo  
Estudiante de la Maestría en Estomatología con opción en Terminal en Ortodancia  
Matrícula No.: 223450006  
Secretaría de Investigación y Estudios de Posgrado  
Facultad de Estomatología  
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla  
PRESENTE

Sirva este medio para enviarle un cordial saludo, asimismo, en mi doble calidad de Secretaria de Investigación y Estudios de Posgrado y Presidenta del Comité de Investigación de la Facultad de Estomatología de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla; aprovecho para felicitarlo por el avance significativo en su proceso académico. En atención a su solicitud, me permita notificarle que su tesis titulada:

"Ajuste de alineadores termoformados sobre modelos 3D con el uso de vibraciones de alta frecuencia"

ha recibido la aprobación oficial para su impresión.

Su trabajo ha sido registrado en el Libro de Registros No. 10, página 01, con el No. de Asignación 2025791F3 quedando debidamente documentado en esta Secretaría de Investigación. Esta tesis será presentada como parte del procedimiento para su examen profesional, necesario para obtener el grado de Maestría en Estomatología.

### Próximos pasos:

1. Impresión de la tesis: Proceda con los trámites de impresión conforme a los lineamientos establecidos por la Facultad.
2. Revisión del documento: Asegúrese de que el texto cumpla con los estándares académicos y formales.
3. Coordinación del examen profesional: Comuníquese con el Responsable de la Etapa Terminal de la Maestría de su elección para programar su examen de grado y gestionar los trámites administrativos correspondientes.

Le recordamos que el cumplimiento de los plazos y requisitos establecidos es fundamental para garantizar la fluidez del proceso.

### Reconocimiento y mensaje final:

Este logro refleja su esfuerzo, dedicación y el impacto de su investigación en el ámbito de la Estomatología. Le felicitamos por este avance significativo y confiamos en que continuará demostrando su compromiso académico y profesional.

Para cualquier consulta o información adicional, no dude en comunicarse con nosotros. Estamos a su disposición para acompañarlo en esta etapa crucial de su formación.

Sin otro particular, le reitero mi más atenta y distinguida consideración y le deseamos éxito en la etapa final de esta carrera académica.

Atentamente

"Pensar bien, para vivir mejor"

H. Puebla de Z., a viernes 27 de junio de 2025

MEP. Gisela Natalia Rubín de Celis Quintero  
Secretaria de Investigación y Estudios de Posgrado  
Facultad de Estomatología

\*Nota: Se anexa Formato de Impresión de Tesis - C. Diana Barrera Montalvo - Maestría en Estomatología - Terminal en Ortodancia - S.I.E.P. - Facultad de Estomatología - BUAP. (original - p.a.c.y.a.)

\*C.d.p. Archivo

\*MCO: FJMA/MEP: GARCIA/



Secretaría de Investigación y  
Estudios de Posgrado  
Facultad de  
Estomatología

31 poniente 1304, Col. Volcanes  
Puebla, Pue.  
C.P. 72410  
Tel. Of. 22'22 29 55 00  
Ext. 5526

## II. AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

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

Para obtener el Grado de: Maestro(a) en Estomatología con opción terminal en Ortodoncia

No. Registro CIFE: 2025291E9 Fecha de Registro ante CIFE: miércoles 18 de junio del 2025

Título de la Tesis: "Ajuste de alineadores termoformados sobre modelos 3D con el uso de vibraciones de alta frecuencia"

Nombre del estudiante: Diana Barreda Montalvo. Matrícula: 23450006.

Domicilio: Juan Aldama #5835 Colonia Miguel Hidalgo, Puebla.

No. de Cel: 22\*6871 2470 Fecha de ingreso a la Facultad: lunes 09 de enero del 2023.

Firma: 

Director de Tesis: MO. Laura Mónica López Pérez Franco. Grado académico: Maestría en Ortodoncia.

Adscripción: Facultad de Estomatología. ID: 100527897. No. Cel: 22\*25 18 03 20.

Firma: 

Última modificación del documento

Director Disciplinario: EO. Alejandro Andrade Torres. Grado académico: Maestría en Ortodoncia.

Adscripción: Facultad de Estomatología. ID: 100426177. No. Cel. 22\*24 71 96 76.

Firma: 

Director Metodológico: DC. Miguel Ángel Casillas Santana. Grado académico: Doctor en Ciencias Estomatológicas.

Adscripción: Facultad de Estomatología. ID: 100526485. No. Cel: 44\*48 46 76 45

Firma: 

Lector: MC. Mauro García Solano. Grado académico: Maestro en Ciencias Médicas e Investigación.

Adscripción: Facultad de Estomatología. ID: 100426011. No. Cel: 22\*21 51 60 74

Firma: 

**Nombre y firma de aprobación del presidente de la academia/Responsable de la Maestría en Estomatología con Opción terminal en Ortodoncia**

MO. Farid Alfonso Dipp Velázquez

Firma: 

**La Secretaría de Investigación y Estudios de Posgrado**

  
MEP. Gisela Nataly Rubin de Celis Quintana



Fecha oficial de emisión: viernes 27 de junio de 2025.

Sello 

### III. OFICIO DE ACEPTACIÓN DE PROYECTO C.I.F.E.



Constancia No. FESIEP/CIFE/146/2025

MD. Laura Mónica López Pérez Franco  
Directora y Responsable del Proyecto de Investigación  
Secretaría de Investigación y Estudios de Posgrado  
Facultad de Estomatología  
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla  
PRESENTE

Sirva este medio para enviarle un cordial saludo, asimismo, en mi responsabilidad conjunta de Secretaria de Investigación y Estudios de Posgrado y Presidenta del Comité de Investigación de la Facultad de Estomatología de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, y tras realizar un minucioso análisis y evaluación de su proyecto de investigación (colectivo):

Nombre del Título del Proyecto:

"Ajuste de alineadores termoformados y de impresión directa sobre modelos 3D con el uso de vibraciones de alta frecuencia"

No.	Cargos	Nombres	ID y/o Matrícula
1	Directora y Responsable del Proyecto de Investigación:	MD. Laura Mónica López Pérez Franco	100527697
2	Director Disciplinario:	DC. Miguel Ángel Casillas Santana	100526485
3	Director Metodológica:	MD. Alejandro Andrade Torres	100426277
4	Estudiante de Maestría en Estomatología <u>Terminal en Ortodoncia</u>	C. Diana Borredo Montalvo	229450006

Por este medio HAGO CONSTAR, que dicho proyecto, ha sido oficialmente ACEPTADO y registrado ante los Comités de Investigación (C.I.F.E.) y de Ética (C.E.I.F.E.) de la Facultad de Estomatología, con los siguientes datos de registro:

- Libro de registros No. 10,
- Página 01,
- No. de asignación 2025201E9

Este asentamiento se realiza en la Secretaría de Investigación y Estudios de Posgrado de esta Unidad Académica, y queda constancia de su validez para los fines legales y administrativos que los interesados estimen pertinentes.

Sin más por el momento, reitero mi disposición para atender cualquier consulta adicional y le extiendo mi más atenta y distinguida consideración.

Atentamente

"Pensar bien, para vivir mejor"

H. Puebla de Z., a miércoles 18 de junio de 2025

MEP. Gisela Natally Rubín de Celis Quintana  
Secretaria de Investigación y Estudios de Posgrado  
Facultad de Estomatología

T.c.p. Archivo  
MCO, FJRM, MEP, GNRCO

Secretaría de Investigación y Estudios de Posgrado  
Facultad de Estomatología  
31 poniente 1304, Col. Volcanes  
Puebla, Pue.  
C.P. 72410  
Tel. Of. 22\*22 29 55 00  
Ext. 5526



Constancia No. FESIEP/CIFE/266/2025

M<sup>o</sup>. Laura Mónica López Pérez Franco  
 Directora y Responsable del Proyecto de Investigación  
 Secretaría de Investigación y Estudios de Posgrado  
 Facultad de Estomatología  
 Benemérita Universidad Autónoma de Puebla  
**PRESENTE**

Sirva este medio para enviarle un cordial saludo, asimismo, en mi doble calidad de Secretaria de Investigación y Estudios de Posgrado y Presidenta del Comité de Investigación de la Facultad de Estomatología de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, me permita informarle sobre una actualización significativa respecto al Proyecto de Investigación (Colectiva) que Usted lidera.

I. Antecedentes del Proyecto de Investigación:

- 🚩 Número de Asignación: 2025291E9.
- 🚩 Fecha de Registro: miércoles 18 de junio del 2025.
- 🚩 Libro de Registro: 10, página 01.
- 🚩 Comités ante el cual se registró:
  - ✓ Comité de Investigación de la Facultad de Estomatología (C.I.F.E.).
  - ✓ Comité de Ética en Investigación de la Facultad de Estomatología (C.E.I.F.E.).

Título original:

"Ajuste de alineadores termoformados y de impresión directa sobre modelos 3D con el uso de vibraciones de alta frecuencia."

Integrantes originales del Proyecto de Investigación:

No.	Cargos	Nombres	ID - Matriculas
1	Directora y Responsable del Proyecto de Investigación:	M <sup>o</sup> . Laura Mónica López Pérez Franco	100527897
2	Director Disciplinario:	D <sup>c</sup> . Miguel Ángel Casillas Santana	100526485
3	Directora Metodológica:	M <sup>o</sup> . Alejandro Andrade Torres	100426177
4	Estudiante de Maestría en Estomatología <u>Terminada en Ortodoncia</u>	C. Diana Barredo Montalvo	22345000E



**BUAP**

ii. Solicitud de Modificación y Aprobación:

El día jueves 19 de junio del presente año, el Comité de Investigación de la Facultad de Estomatología (C.I.F.E.) recibió formalmente su solicitud de actualización respecto al cambio en título de su Proyecto de Investigación.

Tras un análisis detallado y conforme a los criterios establecidos, se ha aprobado la actualización solicitada.

iii. Datos de actualizaciones del Proyecto de Investigación:

Título modificado:

"Ajuste de alineadores termofarmados sobre modelos 3D con el uso de vibraciones de alta frecuencia"

Por lo anterior, el equipo de investigación y los roles asignados permanecen inalterados. Es importante destacar que esta actualización para para efectos legales y administrativos pertinentes.

En virtud de lo anterior, se deja constancia de las modificaciones aprobadas, mismas que surten efectos a partir de la presente comunicación.

Reiterando mi disposición para atender cualquier consulta adicional, me permito expresarle mi reconocimiento por su compromiso con la investigación en nuestra Facultad.

Atentamente

"Pensar bien, para vivir mejor"

H. Puebla de Z., a viernes 20 de junio de 2025

MEP. Gisela Nataly Rubin de Celis Quintana  
Secretaria de Investigación y Estudios de Posgrado  
Facultad de Estomatología



C.p. Archie  
MCO, F.AM/MEP, GNR/CQ

Secretaría de Investigación y  
Estudios de Posgrado  
Facultad de  
Estomatología

31 poniente 1304, Col. Volcanes  
Puebla, Pue.  
C.P. 72410  
Tel. Of. 22\*22 29 55 00  
Ext. 5526

Página 2 de 2

## IV. REPORTE DE SIMILITUD ANTI PLAGIO

# Diana 1 Diana 1

## Diana 1

Quick Submit

Quick Submit

JSEI




### 3% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...




#### Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

#### Fuentes principales

- 2%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 3%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

#### Fuentes principales

- 2%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 3%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

#### Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	Trabajos del estudiante	
	BENEMERITA UNIVERSIDAD AUTONOMA DE PUEBLA BIBLIOTECA	2%
2	Internet	
	core.ac.uk	<1%
3	Internet	
	repositorioinstitucional.buap.mx	<1%
4	Publicación	
	Suaza, Maira Alejandra Salgado   Villamizar, Angie Karina Portilla   Zabaleta, Juliá...	<1%
5	Internet	
	qa1.scielo.br	<1%
6	Internet	
	repositorio.unimagdalena.edu.co	<1%

## V. AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco profundamente a Dios, por darme la vida, la fortaleza y la oportunidad de seguir aprendiendo. Gracias por rodearme de personas amorosas que han sido luz en los momentos difíciles y por permitirme transitar este camino con fe, amor y propósito. Cada paso en este trayecto ha estado guiado por su voluntad, y cada logro es un reflejo de su infinita bondad.

A mis padres, Irene Montalvo y Miguel Barreda, gracias por ser el motor de todos mis sueños, por nunca poner límites a mis inquietudes y por siempre decir que sí a mis metas. Gracias por enseñarme, con su ejemplo, el valor de la constancia, el trabajo honesto y la fe. Su apoyo incondicional y amor firme han sido el sostén que me impulsó incluso en los momentos más inciertos.

A mi hermana, Anahy Barreda, gracias por ser mi cómplice, amiga, consejera y coach. Has estado a mi lado en cada reto, levantándome cuando quise rendirme, celebrando mis logros como propios y haciéndome sentir acompañada siempre. Tu fuerza y amor son un regalo invaluable.

A los docentes del posgrado, mi más sincero agradecimiento por abrirme las puertas de esta etapa formativa. Gracias por compartir sus conocimientos con pasión, por su paciencia y por su comprensión en momentos personales complejos; gracias por su empatía, por escucharme y por acompañarme con humanidad en este proceso.

A la Dra. Mónica López, al Dr. Miguel Ángel Casillas y al Dr. Alejandro Andrade, gracias por su guía, apoyo y compromiso con este proyecto. Su confianza me motivó a dar lo mejor de mí, y su acompañamiento fue clave para concretar este sueño académico.

A la Dra. Beatriz Márquez, gracias por su escucha, por compartir su experiencia y por el profundo vínculo que construimos desde la resiliencia. Compartimos una de las experiencias más difíciles que puede atravesarse, y gracias a ello, comprendí que Dios pone todo y a todos en los tiempos perfectos. Gracias por ser un espejo de fortaleza y fe.

A Mariana Huerta, Julieta Campos, fueron una inspiración constante, gracias por sus consejos y por su cariño. A mis compañeros del posgrado que me recibieron con tanto cariño: Mayra Carrera, Paola Romero, Yuri Avilés, Rebeca Flores y Omar Berlanga, gracias por hacerme sentir parte de su generación, por compartir conocimientos, consejos y afecto. A Sofía Isabel V., José Eduardo J., Julio Cesar L., Claudia Monserrat G., Diana Guadalupe C., Mayra Valenzuela, Ligia Raquel G., Adriana Lorena A., Montserrat Martínez, Marian G. Rodríguez, Ana Karen N., gracias por regalarme risas, vivencias y la confianza de acompañarlos en su camino. Les deseo de corazón que este posgrado les brinde tantas satisfacciones como a mí. Más allá del conocimiento profesional, esta etapa deja grandes lecciones de vida que siempre guardaré con gratitud.

Al Dr. Toledo Solano Miller, al MC. Luis Rendón y al MC. FA. Hugo Ávalos, de la Facultad de Ciencias Físico Matemáticas de la BUAP, gracias por su apoyo, disposición para sumar a este proyecto el uso del dispositivo LaserPoint LP01. Al MC. Eric Reyes Cervantes, del DITCo-BUAP, gracias por su valioso apoyo en la medición de las muestras mediante microscopía electrónica de barrido, permitiendo consolidar esta investigación con base científica sólida.

A todos los que, de forma directa o indirecta, fueron parte de este proceso, les expreso mi más profundo agradecimiento. Su apoyo, compañía y generosidad permanecerán en mi memoria y corazón. Esta tesis no es solo un documento académico, sino también el reflejo de todos los que creyeron en mí cuando más lo necesité. ¡Gracias por ser parte de este capítulo tan importante de mi vida!

## VI. ÍNDICE GENERAL

### Título: “Ajuste de alineadores termoformados sobre modelos 3D con el uso de vibraciones de alta frecuencia”

1.	RESUMEN Y PALABRAS CLAVE .....	14
2.	INTRODUCCIÓN.....	15
3.	ANTECEDENTES GENERALES.....	16
3.1	Alineadores dentales.....	16
3.2	Ajuste.....	17
3.3	Vibraciones .....	17
3.4	LaserPoint LP01 de OMS (OMS, Optical measurement Systems, Laguna Hills, CA. EE. UU). .....	18
3.5	Microscopio Electrónico de Barrido (SEM) .....	19
4.	ANTECEDENTES ESPECÍFICOS.....	19
5.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	21
5.1	Pregunta de investigación .....	21
6.	JUSTIFICACIÓN.....	21
7.	HIPÓTESIS .....	22
8.	OBJETIVOS.....	22
8.1	Objetivo general .....	22
8.2	Objetivos específicos .....	22
9.	MATERIALES Y MÉTODOS .....	23
9.1	Diseño del estudio .....	23
9.2	Población y muestra .....	23
9.3	Criterios de selección .....	23
9.3.1	Inclusión.....	23
9.3.3	Eliminación .....	24
9.4	Variables .....	24
9.5	Concordancia y fiabilidad .....	24
9.6	Ubicación espacio-temporal.....	25
9.7	Procedimientos, técnicas y fuentes de recolección .....	25
9.7.1	Caracterización de las vibraciones del dispositivo A10° .....	25
9.7.2	Evaluación del ajuste de los alineadores termoformados y de impresión directa .	29

9.8 Análisis estadístico.....	31
10. RESULTADOS.....	32
10.1 Caracterización del dispositivo de vibraciones .....	32
10.2 Caracterización de la transmisión de vibraciones .....	33
10.3 Medición del ajuste de los alineadores sobre el modelo impreso en 3D .....	34
11. DISCUSIÓN.....	41
12. CONCLUSIÓN.....	42
13. BIBLIOGRAFÍA.....	44
14. ANEXOS.....	47
14.1 Consentimiento Informado .....	47

## VII. ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

Figura 1.....	pág. 20
Figura 2.....	pág. 21
Figura 3.....	pág. 22
Figura 4.....	pág. 23
Figura 5.....	pág. 24
Figura 6.....	pág. 25
Figura 7.....	pág. 26
Figura 8.....	pág. 27
Figura 9.....	pág. 28
Figura 10.....	pág. 29
Figura 11.....	pág. 30
Tabla 1.....	pág. 31
Tabla 2.....	pág. 32
Tabla 3.....	pág. 33
Tabla 4.....	pág. 34
Tabla 5.....	pág. 34
Tabla 6.....	pág. 35
Tabla 7.....	pág. 36
Tabla 8.....	pág. 37
Tabla 9.....	pág. 38
Tabla 10.....	pág. 39
Tabla 11.....	pág. 40

## *VIII. ABREVIATURAS*

**SEM:** Microscopía Electrónica de Barrido.

**Hz:** Hertz.

**OMS:** Optical Measurement Systems.

**Micro-CT:** microtomografías computarizadas

**FEM:** elementos finitos.

## Título: “Ajuste de alineadores termoformados sobre modelos 3D con el uso de vibraciones de alta frecuencia”

### 1. RESUMEN Y PALABRAS CLAVE

El presente estudio evaluó el efecto de las vibraciones de alta frecuencia en el ajuste de alineadores termoformados sobre modelos impresos en 3D. Se caracterizaron las vibraciones emitidas por el dispositivo A10<sup>®</sup> utilizando el sistema LaserPoint LP01 de OMS, y posteriormente se analizó la transmisión de dichas vibraciones en un modelo experimental. Dos alineadores fueron termoformados sobre modelos del mismo paciente, a uno se le aplicaron vibraciones de alta frecuencia y al otro no. El ajuste se midió mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) en siete zonas específicas por diente (incisivo central, canino, segundo premolar y primer molar derechos superiores). Los resultados mostraron una tendencia a un mejor ajuste con la aplicación de vibraciones, aunque sin diferencias estadísticamente significativas. Estos hallazgos sugieren que las vibraciones de alta frecuencia podrían tener un impacto positivo en la adaptación de los alineadores, aunque se requiere mayor investigación para confirmar su efectividad clínica.

**Palabras clave:** Ortodoncia, Alineadores dentales, Vibraciones de alta frecuencia, Ajuste, Microscopía electrónica de barrido, modelos 3D.

## 2. INTRODUCCIÓN

A lo largo de los años las investigaciones en ortodoncia se han enfocado en encontrar alternativas más eficaces y estéticamente aceptables para el tratamiento de las maloclusiones dentales. Desde la introducción de los posicionadores dentales termoplásticos propuestos por H.D. Kesling en 1946 hasta su modernización por Align Technology en 1997, los alineadores dentales han revolucionado la práctica ortodóntica; dicho método consta de la colocación de fundas plásticas, las cuales son prácticamente invisibles y que tienen la capacidad de ejercer presión controlada y constante sobre la superficie dental, de esta manera se generan movimientos graduales hasta alcanzar el objetivo deseado durante el tratamiento. Debido a la alta demanda de los pacientes que buscan mejorar la estética durante su tratamiento de ortodoncia, los alineadores dentales se han convertido una de las opciones preferidas a utilizar ante los casos de apiñamiento leve o moderado.

A pesar del uso significativo de los alineadores dentales en la actualidad, es posible encontrar algunos desafíos técnicos relacionados con el ajuste entre el alineador y la superficie dental. El que se produzca un buen ajuste entre ambas superficies es indispensable para que se aplique la fuerza de manera efectiva, lo que se traduce en mejor expresión del movimiento dental. La literatura sugiere que las vibraciones de alta frecuencia podrían tener un efecto positivo en este aspecto, mejorando el asentamiento del alineador, por ende, su eficacia.

Las vibraciones, son oscilaciones que parten desde un punto de equilibrio, dichas vibraciones han sido estudiadas en el uso odontológico para conocer la influencia de estas ante la remodelación ósea; específicamente las vibraciones de alta frecuencia ( $\geq 90\text{Hz}$ ) las cuales han demostrado generar cambios catabólicos y anabólicos en el hueso alveolar. Estudios previos han investigado el impacto de las vibraciones en la densidad ósea y su relación con la aceleración del movimiento en el área de ortodoncia, sin embargo los resultados de dichas investigaciones aún son controversiales; así mismo, en otros estudios se sugiere que las vibraciones de alta frecuencia llegan a acelerar el tratamiento de ortodoncia con el uso de los alineadores debido a que se produce un mejor ajuste entre la superficie dental y el alineador, lo que justifica una investigación más profunda en este ámbito, debido a la carencia de los estudios que lo demuestran.

La presente investigación está centrada en la evaluación del ajuste entre los alineadores transparentes y los modelos dentales impresos antes y después de la aplicación de vibraciones de alta frecuencia. Este estudio se fundamenta en la hipótesis de que dichas vibraciones mejoran el ajuste del alineador, optimizando así la eficacia del tratamiento. Para dicha investigación se utilizarán herramientas como la tomografía computarizada industrial y el LaserPoint LP01; se analizará y cuantificará el impacto de las vibraciones de alta frecuencia en el ajuste del alineador. Los resultados obtenidos de la presente investigación proporcionarán una base científica para el uso de las vibraciones de alta frecuencia en la práctica

ortodóncica, contribuyendo a mejorar los resultados clínicos y la experiencia del paciente.

### 3. ANTECEDENTES GENERALES

#### 3.1 Alineadores dentales

A lo largo de la historia de la ortodoncia, la búsqueda por alternativas estéticas, cómodas y eficientes, han llevado al desarrollo de los alineadores dentales, los cuales han adquirido una creciente aceptación, especialmente entre pacientes adultos. Aunque actualmente es una técnica muy utilizada, su origen viene desde 1997 cuando la empresa Aling Technology lanza el sistema como se conoce actualmente Invisaling®, dicho tratamiento está basado en utilizar una serie de alineadores dentales termoformados con la finalidad de mover de manera progresiva los órganos dentarios a su posición ideal (1–3).

El sistema Invisalign® ha combinado tecnología con el modelado secuencial digital para movimientos dentales controlados a través de una serie de alineadores termoformados. Desde entonces, diversas casas comerciales han introducido nuevos sistemas, materiales y protocolos de cambio, ampliando las indicaciones clínicas y mejorando la predictibilidad del tratamiento(3).

En la actualidad, los alineadores se dividen principalmente en dos categorías de acuerdo con su método de fabricación: los alineadores termoformados y los alineadores de impresión directa. Los alineadores termoformados han sido los más ampliamente utilizados y se fabrican a partir de modelos impresos en 3D sobre los cuales se moldea una lámina termoplástica mediante calor y presión. No obstante, este proceso involucra múltiples etapas que pueden generar alteraciones dimensionales, afectando la precisión del ajuste sobre la superficie dental (4,5).

Por otro lado, los alineadores generados por medio de impresión directa han surgido como una alternativa reciente, eliminando las fases de termoformado y permitiendo una mayor fidelidad dimensional. En diversos estudios se reportó que estos alineadores mostraron una mejor adaptación a la superficie dental, así como un grosor más uniforme, lo que favoreció la distribución de fuerzas durante el tratamiento (6,7).

La evaluación de las propiedades mecánicas y del ajuste ha sido un tema recurrente en la literatura contemporánea. En estudios recientes se analizó la resistencia mecánica de los alineadores utilizando modelos de elementos finitos (FEM), identificando en la distribución de tensiones entre los dispositivos termoformados y los fabricados mediante impresión directa. Dichos hallazgos han sido fundamentales para valorar la capacidad de ambos tipos de alineadores para resistir la carga oclusal generada por una mordida humana (8).

Respecto a la adaptación marginal y al ajuste tridimensional, algunos estudios emplearon microtomografías computarizadas (mico-CT), escaneos intraorales y microscopio electrónico de barrido (SEM) para comparar la adaptación entre alineadores termoformados (como los fabricados con Essix ACE®) y de impresión directa. Los resultados señalaron que los alineadores impresos presentaron menor

espacio entre la superficie dental y el alineador con una mejor adaptación, lo cual podría influir directamente en la precisión del movimiento dental (9,10).

No obstante, a pesar de estas mejoras tecnológicas, los alineadores termoformados continúan siendo ampliamente utilizados debido a su bajo costo y disponibilidad de materiales. Su éxito clínico depende, en gran medida, de la correcta ejecución del proceso de termoformado, el cual está influenciado por variables como la temperatura, el tiempo de calentamiento y la técnica de presión empleada (4,11).

A pesar de los avances, existen áreas que requieren mayor investigación, específicamente aquellas relacionadas con estrategias complementarias para optimizar la adaptación del alineador a la superficie dental. Una de estas estrategias emergentes ha sido el uso de vibraciones de alta frecuencia, cuyo impacto en la mejora del ajuste de los alineadores no ha sido suficientemente explorado. En este sentido, la presente investigación buscó aportar evidencia científica sobre los posibles beneficios de esta tecnología en el ajuste tridimensional de alineadores termoformados, lo cual representa una contribución dentro del campo de la ortodoncia.

### 3.2 Ajuste

De acuerdo con la Real Academia Española, el término *ajuste* se define como la acción y efecto de ajustar o ajustarse, es decir, hacer y colocar algo de manera que encaje o coincida exactamente con otra cosa (12). En el enfoque ortodóncico dicho ajuste es fundamental para optimizar la interacción entre el alineador y la superficie dental. Asimismo, la orientación adecuada de las superficies activas del alineador permite una expresión más precisa de los movimientos dentales planificados (13).

En el ámbito clínico, el ajuste de los alineadores se refiere al grado de congruencia y contacto estrecho entre su superficie interna y la superficie externa de los dientes. Este factor está relacionado con la retención de este y con la eficacia en la transmisión de fuerzas y movimientos. Un ajuste deficiente puede afectar la predictibilidad del tratamiento, ya que se dificulta la expresión completa de los movimientos programados, por lo que es indispensable lograr un contacto adecuado entre ambas superficies con la finalidad de garantizar la efectividad del tratamiento (13).

### 3.3 Vibraciones

A lo largo de la historia se han estudiado las vibraciones, sin embargo, es importante saber que el origen de estas y sus estudios comenzaron hace miles de años, cuando fueron creados los primeros instrumentos musicales; desde entonces músicos y filósofos se dedicaron a buscar las reglas y las leyes de estas. Con el tiempo, el concepto de vibración se expandió y se reconoció su presencia en múltiples actividades humanas, desde la audición, hasta la visión y la respiración, en donde estructuras anatómicas interactúan con ondas vibratorias para facilitar funciones fisiológicas esenciales (14,15).

Desde la perspectiva física, la vibración se define como el movimiento oscilatorio de un cuerpo alrededor de un punto de equilibrio. Este fenómeno puede clasificarse

según su frecuencia en vibraciones de baja frecuencia ( $\leq 45$ Hz) y alta frecuencia ( $\geq 90$  Hz), y se caracteriza por tres parámetros fundamentales: frecuencia (número de oscilaciones por segundo en Hz, amplitud (desplazamiento máximo del movimiento, en mm) y dirección del movimiento (16,17).

Inicialmente, el estudio de las vibraciones se enfocó en la ingeniería y la física aplicada, con aplicaciones en el diseño de maquinaria, estructuras y motores. No obstante, sus aplicaciones se han extendido a la medicina, donde han demostrado efectos relevantes en la estimulación ósea, la cicatrización de tejidos, la mejora de la cicatrización sanguínea y el tratamiento de patologías musculoesqueléticas. En ortopedia, por ejemplo, se ha utilizado la vibración para estimular la regeneración ósea y mejorar la densidad mineral ósea en pacientes con osteoporosis (18,19).

En el campo de la ortodoncia, la aplicación de vibraciones mecánicas ha generado un creciente interés, especialmente por su potencial para acelerar el movimiento dental. Se han desarrollado diversos dispositivos como el AcceleDent® (30 Hz), VPro5® (120 Hz) y el Acelerador A10® de TD Orthodontics (150-175 Hz), los cuales emiten vibraciones de distintas frecuencias y han sido comercializados con la promesa de reducir el tiempo total del tratamiento ortodóncico y disminuir las molestias asociadas al mismo.

Los mecanismos por los cuales las vibraciones podrían influir en el movimiento dental incluyen la estimulación de la remodelación ósea mediante la activación de osteoclastos y osteoblastos, la mejora de la circulación sanguínea local y la disminución de la inflamación periapical. Adicionalmente, algunos autores han sugerido que podrían contribuir a mejorar el ajuste de los alineadores al facilitar una mayor adaptación del material a las superficies dentales (7).

Sin embargo, la eficacia de estos dispositivos ha sido motivo de controversia. Algunos estudios clínicos y revisiones sistemáticas reportan beneficios limitados o nulos en la aceleración del movimiento dental, mientras que otros reportan resultados positivos en términos de eficiencia y comodidad del paciente. Estas discrepancias podrían atribuirse a diferencias en la metodología, la frecuencia utilizada, la duración del uso diario o la variabilidad biológica entre pacientes. Por lo tanto, aún se requiere mayor evidencia científica que respalde su uso sistemático en la práctica ortodóncica.

#### 3.4 LaserPoint LP01 de OMS (OMS, Optical measurement Systems, Laguna Hills, CA. EE. UU).

Respecto a la caracterización de vibraciones el dispositivo LaserPoint LP01 de OMS, representa una herramienta de alta precisión para la evaluación de vibraciones en diversas superficies. Este sistema permite medir la frecuencia y velocidad de vibración sin necesidad de contacto, facilitando así su aplicación en modelos experimentales (20).

El LaserPoint LP01 de OMS utiliza una tecnología basada en un diodo láser infrarrojo, alcanza frecuencias de 0.01 Hz a 20 kHz con una distancia de trabajo de entre 1 cm y 5 m, convirtiéndolo en una herramienta ideal para la caracterización de vibraciones en modelos físicos; con ayuda del software desarrollado por OMS, es

posible visualizar los datos obtenidos en cuanto a velocidad, aceleración y desplazamiento, permitiendo así la interpretación de estos (20).

En el presente estudio el dispositivo LaserPoint LP01 de OMS, fue utilizado para medir y analizar la frecuencia de vibración generada por el dispositivo A10<sup>®</sup>, con el objetivo de verificar si la vibración transmitida al modelo impreso en 3D coincide con la frecuencia reportada por el fabricante, lo que permite evaluar la precisión del sistema de vibración y su impacto en el ajuste de los alineadores. Las características presentadas y su facilidad de uso hacen al Laser Point LP01 de OMS una herramienta clave para garantizar la fiabilidad de las mediciones en dicho estudio, para obtener datos precisos sobre la transmisión de vibraciones en el modelo experimental (20).

### 3.5 Microscopio Electrónico de Barrido (SEM)

En 1965, la empresa Cambridge Instrument Co. Desarrolló y lanzó al mercado el primer microscopio electrónico de barrido (*Scanning Electron Microscope, SEM*), un instrumento diseñado para visualizar estructuras e imágenes que no pueden observarse a simple vista. La microscopía electrónica de barrido nos ayuda a obtener imágenes detalladas que muestran la topografía superficial de una muestra, siendo una herramienta de gran ayuda en el área científica (21).

A pesar del desarrollo de técnicas avanzadas como la microscopía óptica (LM), la microscopía de fuerza atómica (AFM) y la microscopía electrónica de transmisión (TEM), el SEM continúa destacándose por su capacidad para examinar la topografía tridimensional y la distribución de características estructurales expuestas en la superficie de los materiales. Es necesario que, para garantizar la calidad y fidelidad de las imágenes obtenidas, cada una de las muestras deben ser sometidas a una preparación en específico con la finalidad de evitar un daño estructural y la aparición de artefactos, dicha preparación incluye un proceso de recubrimiento de una capa delgada de metal conductor, lo cual permite mejorar el análisis de la muestra, minimizando el daño por la interacción de haz de electrones (22).

Una vez fijadas sobre un portaobjetos utilizando cinta de carbono doble cara, las muestras se recubren con el metal seleccionado mediante un proceso llamado sputtering, en el que se depositan en su mayoría iones de oro, con el objetivo de hacerlas conductoras (22).

El SEM se ha convertido en una herramienta importante para el análisis de la morfología y textura de una amplia variedad de elementos y materiales. Gracias a su alta resolución, permite realizar estudio con un análisis de pocas micras hasta los 100 nanómetros (21).

## 4. ANTECEDENTES ESPECÍFICOS

En la actualidad se ha popularizado el uso de alineadores como una alternativa para el tratamiento de ortodoncia, sin embargo, existe escasa evidencia científica sobre el ajuste entre el alineador y la superficie dental, lo cual llega a ser relevante debido a que en un artículo publicado en el 2019 por Shipley y cols.,

mencionan que al obtener un mejor ajuste del alineador respecto a la superficie dental se produce mayor expresión de la mecánica de movimiento (23).

Diversos estudios han abordado esta problemática utilizando diferentes metodologías de evaluación. En 2018, Mantovani et al. Compararon el ajuste de los alineadores Invisalign® y Ca-Clear Aligner® mediante microscopía electrónica de barrido (SEM), dichos alineadores fueron colocados de manera pasiva sobre modelos de resina obtenidos de un archivo STL de un paciente; para el análisis de las muestras se seccionaron los modelos bucolingualmente en la zona de incisivos centrales superiores e inferiores, primeros premolares superiores e inferiores, y molares superiores e inferiores; dichas muestras fueron llevadas al SEM en donde se tomaron microfotografías obteniendo un total de 160 mediciones micrométricas y procesadas mediante pruebas ANOVA. Dentro de los resultados obtenidos Invisalign® obtuvo un mejor ajuste en el borde gingival de la cara bucal de los incisivos inferiores, en el borde gingival de la cara lingual de los premolares superiores y en molares en el borde gingival de la cara bucal; por otro lado CA- Clear Aligner®, proporcionó un mejor ajuste en la cúspide bucal, en el surco oclusal y en la cúspide palatina de los molares superiores, mientras que en molares inferiores Invisalign® obtuvo un mejor ajuste en la zona bucal, En conclusión CA-Clear Aligner® proporcionó un mejor ajuste en las superficies oclusales complejas, mientras que Invisalign® obtuvo un mayor ajuste en los bordes gingivales de los alineadores (24).

En 2020 Lombardo y cols., realizaron un estudio comparativo, en el cual, analizaron seis marcas de alineadores (Airnivol, ALL IN, Arc Angel, F22, Invisaling y Nuvola) con ayuda de la tomografía computarizada industrial de alta resolución. Colocaron los alineadores de manera pasiva sobre un mismo modelo de resina, el cual fue obtenido de un solo paciente, con la finalidad de garantizar la estandarización del estudio. Se evaluó la separación entre el alineador y la superficie dental, realizando mediciones bidimensionales en las regiones anatómicas del incisivo central, canino y primero molar, concluyendo que existe diferencia entre los seis sistemas de alineadores examinados en cuanto a las mediciones de la separación del alineador (25).

Park y cols. en el 2023 llevaron a cabo una comparación entre alineadores termoformados e impresos en 3D. Utilizando micro-CT espectrofotometría, evaluaron el espesor, la translucidez y el ancho del espacio entre alineador y modelo. Encontraron que los alineadores impresos y limpiados con cetrifugado presentaron mejor adaptación y mayor translucidez, confirmando que el método de fabricación y posprocesamiento influye en la precisión del ajuste (10).

Por otro lado, estudios como Grunheid y cols. en 2017 abordaron el efecto del proceso de termoformado sobre el ajuste tridimensional de alineadores. Empleando escaneo óptico digital, determinaron que el calentamiento del acetato, la presión negativa y el tipo de material afectan significativamente el grosor y la precisión del alineador, pudiendo generar irregularidades en áreas como los márgenes gingivales o superficies oclusales complejas (26).

Kim y cols en 2022 evaluaron el ajuste clínico de alineadores impresos y termoformados utilizando técnicas de micro-CT e impresión 3D. Su análisis reveló

que los alineadores impresos directamente presentan un contacto más constante con las superficies dentarias, especialmente en regiones linguales, en comparación con los termoformados, que mostraron mayor separación en las zonas interproximales (27).

Finalmente, Lu y cols. en 2021 realizaron una comparación entre alineadores impresos y termoformados en cuanto a precisión dimensional y contacto superficial, empleando un escáner láser de alta resolución. Concluyeron que los alineadores impresos en 3D tienden a presentar una mejor reproductibilidad de forma y menor deformación después de la fabricación, favoreciendo un ajuste más estable (28).

Estos estudios reflejan una evolución metodológica en la evaluación del ajuste de alineadores, sin embargo, aún no existe evidencia suficiente respecto al impacto de intervenciones auxiliares, como el uso de vibraciones de alta frecuencia, para mejorar el ajuste del alineador sobre el modelo dental.

## 5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la ortodoncia actual, el uso de alineadores transparentes ha ganado mayor popularidad debido a sus ventajas estéticas y de comodidad en comparación con la aparatología convencional. Sin embargo, uno de los principales desafíos en su uso es lograr un ajuste exacto y estable sobre los dientes del paciente, ya que de ello depende la efectividad del tratamiento ortodóncico.

El ajuste de los alineadores está influenciado por diversos factores, como el material de fabricación, el método de producción (termoformado o de impresión directa) y la calidad del modelo impreso en 3D sobre el cual se fabrican los alineadores termoformados, sin embargo, a pesar de los avances tecnológicos, se ha observado en la práctica clínica que el ajuste no siempre es el óptimo, lo que puede influir en la transmisión de la fuerza, afectar la predictibilidad del movimiento dental y generar la necesidad de ajustes adicionales o nuevas impresiones.

Ante la problemática, se propone el uso de las vibraciones de alta frecuencia como una posible estrategia para mejorar el ajuste de los alineadores sobre el modelo impreso en 3D, lo que favorecería el contacto del alineador con la superficie dental del paciente. No obstante, la evidencia científica que respalde dicha teoría es limitada, debido a que no se ha caracterizado adecuadamente el impacto de las vibraciones en la exactitud del ajuste de los alineadores.

### 5.1 Pregunta de investigación

¿La aplicación de las vibraciones de alta frecuencia mejora la exactitud en el ajuste de alineadores termoformados sobre modelos impresos en 3D?

## 6. JUSTIFICACIÓN

La presente investigación ayudará a esclarecer el verdadero impacto de las vibraciones de alta frecuencia en la ortodoncia, específicamente en el ajuste de los alineadores.

Conocer los resultados de este estudio traerá beneficios tanto para el ortodoncista como para el paciente. El ortodoncista podrá comprender si la aplicación de vibraciones puede ser utilizada como estrategia para mejorar la adaptación del alineador, optimizando la planificación y ejecución del tratamiento, reduciendo la posibilidad de usar refinamientos o ajustes adicionales. Además, proporcionará información objetiva sobre la confiabilidad de las vibraciones como complemento en la terapia de alineadores, lo que permite una mejor toma de decisiones clínicas basadas en evidencia.

Uno de los beneficios para el paciente es obtener mayor eficiencia en su tratamiento, al mejorar el ajuste se logran movimientos dentales más predecibles, logrando minimizar efectos indeseados tal es el caso del “efecto semilla de sandía”, que se refiere a la intrusión involuntaria del diente movido que se desencadena por una fuerza intrusiva causada por la distorsión en el ajuste del alineador, dicho efecto pudiera afectar la exactitud del tratamiento (18). En general, el presente estudio contribuye al desarrollo de protocolos clínicos más eficientes y con un respaldo científico, ofreciendo una alternativa que potencialmente mejore la eficacia de los alineadores sin aumentar la complejidad o el costo del tratamiento.

## 7. HIPÓTESIS

Hi: La aplicación de vibraciones de alta frecuencia aumenta el ajuste de los alineadores termoformados sobre los modelos impresos en 3D.

Ho: La aplicación de vibraciones de alta frecuencia no aumenta el ajuste de los alineadores termoformados sobre los modelos impresos en 3D.

## 8. OBJETIVOS

### 8.1 Objetivo general

Evaluar el ajuste de los alineadores termoformados sobre modelos impresos 3D posterior a la aplicación de vibraciones de alta frecuencia, con ayuda imágenes obtenidas del microscopio electrónico de barrido (SEM).

### 8.2 Objetivos específicos

1. Caracterizar las vibraciones emitidas por el dispositivo A10 para conocer si son las que se encuentran reportadas por el fabricante con ayuda del dispositivo LaserPoint LP01 de OMS.
2. Caracterizar la transmisión de las vibraciones emitidas por el dispositivo A10 sobre un modelo diseñado a conveniencia para conocer si son las que se encuentran reportadas por el fabricante con ayuda del dispositivo LaserPoint LP01 de OMS.
3. Medir el ajuste de los alineadores termoformados sin la aplicación de vibraciones sobre modelos impresos en 3D, por medio de la obtención de imágenes con el microscopio electrónico de barrido (SEM).

4. Medir el ajuste de alineadores termoformados posterior a la aplicación de vibraciones de alta frecuencia sobre modelos impresos en 3D, por medio de la obtención de imágenes con el microscopio electrónico de barrido (SEM).
5. Comparar la diferencia en el ajuste de los alineadores termoformados con y sin aplicación de vibraciones de alta frecuencia.
6. Determinar si la aplicación de vibraciones de alta frecuencia reduce la necesidad de ajustes adicionales en el alineador para lograr un ajuste óptimo, en base a los resultados obtenidos.

## 9. MATERIALES Y MÉTODOS

### 9.1 Diseño del estudio

- Cuasiexperimental.
- *In vitro*.

### 9.2 Población y muestra

Modelo de resina impreso, diseñado de manera estratégica para la medición de las vibraciones emitidas por el dispositivo Acelerador para ortodoncia A10 TD<sup>®</sup> dicha medición se va a realizar con el aparato Laser Point LP01 Optical Measurement Systems<sup>®</sup>.

Se utilizaron tres modelos impresos en 3D de un paciente con apiñamiento leve:

- Un modelo superior fue utilizado para medir el ajuste del alineador termoformado sin la aplicación de vibraciones de alta frecuencia.
- En el segundo modelo superior se colocó el alineador termoformado con aplicación de vibraciones de alta frecuencia mediante el dispositivo A10<sup>®</sup> TD.
- El modelo inferior se utilizó para simular la oclusión, pero no se evaluó en el análisis del ajuste.

En ambos modelos superiores se realizó la medición del ajuste del alineador en siete zonas del diente, específicamente en el incisivo central, canino, segundo premolar y primer molar del lado derecho.

### 9.3 Criterios de selección

#### 9.3.1 Inclusión

- Modelo dental superior e inferior en 3D, obtenido de un paciente con apiñamiento leve en la arcada superior y maloclusión clase I.
- Alineadores termoformados Essix ACE<sup>®</sup>, uno para la aplicación de vibraciones de alta frecuencia y otro sin la aplicación.

#### 9.3.2 Exclusión

- Modelos impresos en 3D o alineadores termoformados que presenten defectos visibles de fabricación, como burbujas, fracturas, distorsiones o irregularidades dimensionales.

### 9.3.3 Eliminación

- Modelos o alineadores que sufran daños físicos o deformaciones durante el proceso.
- Casos en los que el paciente retire su consentimiento informado antes o durante la ejecución del estudio.

### 9.4 Variables

	VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	UNIDAD DE MEDICIÓN	ESCALA Y CATEGORÍAS	PRUEBA ESTADÍSTICA
<b>Variable independiente</b>	Caracterización de las vibraciones emitidas por el dispositivo A10.	Proceso para analizar y describir las propiedades de una vibración en un sistema o material específico, implica la medición y evaluación de los parámetros como frecuencia, amplitud, velocidad y aceleración.	Medición de las vibraciones emitidas por el dispositivo A10 en diferentes puntos con ayuda del Dispositivo LaserPoint LP01.	Hertz (Hz)	Cuantitativa por razón discreta	Descriptiva
<b>Variables dependientes</b>	Transmisión de vibraciones del dispositivo A10 al modelo diseñado a conveniencia.	Conocer si las vibraciones generadas por el dispositivo A10 se mantienen al ser transmitidas al modelo diseñado.	Medición de la transmisión de las vibraciones en múltiples barras del modelo diseñado con ayuda del Dispositivo LaserPoint LP01.	Hertz (Hz)	Cuantitativa Por razón Continua	Descriptiva
	Evaluación del ajuste del alineador	Grado de coincidencia entre la superficie interna del alineador y la anatomía del modelo sobre el cual se adapta.	Medición del espacio existente entre la superficie interna del alineador y el modelo impreso en 3D con ayuda del SEM.	Micrómetro ( $\mu\text{m}$ )	Cuantitativa Por razón Continua	T de student

### 9.5 Concordancia y fiabilidad

Para garantizar la precisión y confiabilidad de las mediciones en el presente estudio, el investigador fue previamente estandarizado en los procedimientos de fabricación de alineadores y captura de imágenes mediante la microscopía electrónica de barrido (SEM), bajo la supervisión del encargado del equipo.

Dado que en el estudio no se realizaron mediciones repetidas por zona, no se aplicaron pruebas estadísticas de concordancia intraobservador. No obstante, se cuidó que todas las mediciones fueran realizadas por el mismo operador bajo condiciones controladas, garantizando la homogeneidad metodológica y reduciendo la posibilidad de variabilidad en los datos recolectados.

## 9.6 Ubicación espacio-temporal

Dicha investigación se llevó a cabo en las siguientes instalaciones de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla: Facultad de Ciencias de Físico Matemáticas, edificio Dirección de Innovación y Transferencia de conocimiento (DITCo), en el Centro Avanzado de Pruebas Analíticas no destructivas y el Posgrado de Ortodoncia de la Facultad de Estomatología.

## 9.7 Procedimientos, técnicas y fuentes de recolección

### 9.7.1 Caracterización de las vibraciones del dispositivo A10®

El dispositivo A10® es un producto distribuido por la empresa TD (TD, Monterrey, N.L., México), diseñado para ser utilizado durante el tratamiento de ortodoncia con alineadores dentales o Brackets. De acuerdo con la información proporcionada por la casa comercial, su uso diario durante 5 minutos permite emitir vibraciones de alta frecuencia con un rango de 150 a 175 Hz, lo que, según el fabricante ayudaría a contribuir a una reducción del tiempo total del tratamiento de hasta un 40% (Figura 1).

**ACELERADOR DE ORTODONCIA**

CON SOLO 10 MIN AL DÍA ACELERA HASTA EN UN 40% TUS TRATAMIENTOS DE ORTODONCIA Y DISMINUTE EL DOLOR

**¡EN SOLO 10! MINUTOS**

El A10 está diseñado para que lo utilice el paciente de ortodoncia durante el tratamiento de alineadores o brackets para facilitar el movimiento menor de los dientes. Reduce el tiempo de tratamiento hasta en un 40% con brackets convencionales. El dispositivo de vibración A10 debe usarse durante un total de 5 minutos por día en una sola sesión.

- Alineador que emite vibraciones de alta frecuencia (+/- 150 hertz a 175 hertz).
- Para conveniencia del paciente solamente se requiere un uso diario de 10 minutos.
- Aumento gradual de la vibración hasta alcanzar su máxima potencia.
- Notificaciones luminosas para una fácil operación

Figura 1: Indicaciones de uso del fabricante y rango de oscilación de las vibraciones de alta frecuencia proporcionadas por el dispositivo de acuerdo con lo reportado por la casa comercial TD™ en su folleto promocional.

Conociendo lo anterior la caracterización de las vibraciones del dispositivo A10® se realizó con ayuda del dispositivo de medición LaserPoint LP01 de OMS (Figura 2). Para ello, se evaluaron las vibraciones emitidas por el dispositivo en tres puntos diferentes. El láser fue dirigido a un solo punto por medición, registrándose la frecuencia, el desplazamiento, la velocidad y la aceleración mediante el software correspondiente. Cada medición se realizó durante un periodo de 10 minutos, considerando que la casa comercial recomienda un uso diario del dispositivo entre 5 y 10 minutos. El objetivo de este análisis fue determinar la estabilidad de las vibraciones dentro de ese intervalo de tiempo. Este procedimiento se repitió para cada uno de los tres puntos indicados (Figura 3).



Figura 2: Dispositivo de medición LaserPoint LP01 de OMS.



Figura 3: Muestra de los puntos a evaluar sobre el dispositivo de vibración.

Durante la caracterización, el dispositivo A10<sup>®</sup> fue colocado sobre una base metálica ajustable, cuya función era mantenerlo en posición sin interferir con las vibraciones emitidas (Figura 4). Esta base estaba fijada mediante un imán a una mesa con amortiguación dinámica (Figura 5), con la finalidad de mantener el dispositivo aislado de interferencias externas como las vibraciones del suelo o el ambiente, permitiendo realizar la medición en condiciones controladas, con la finalidad de verificar si el dispositivo vibraba dentro del rango de frecuencia reportado por el fabricante.

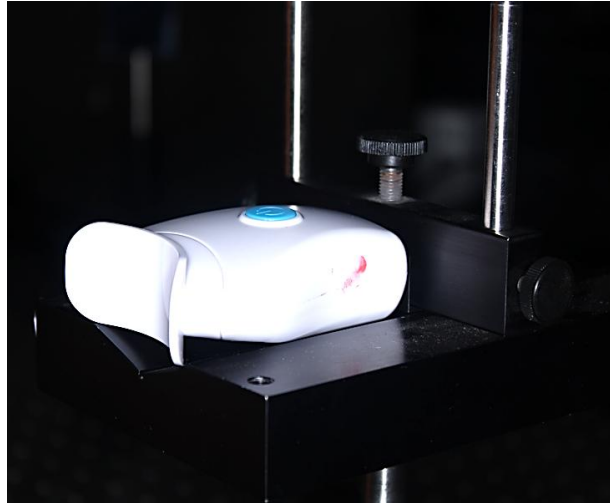


Figura 4: Dispositivo colocado sobre una base para la medición de las vibraciones.

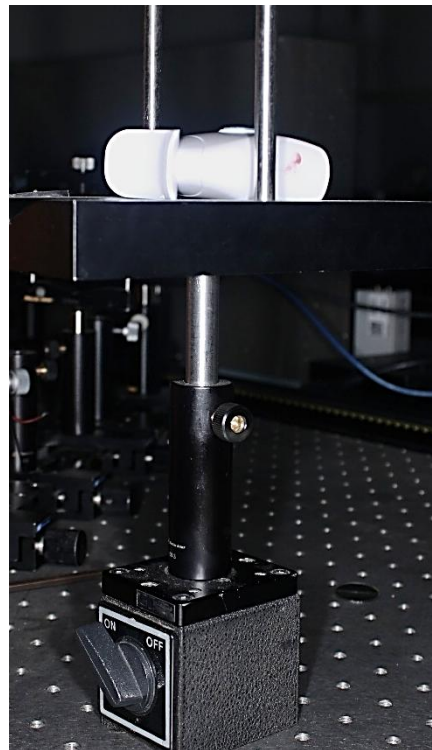


Figura 5: Base fijada sobre una mesa con amortiguación dinámica.

Posterior a la caracterización de las vibraciones emitidas por el dispositivo A10<sup>®</sup>, se procedió a medir la transmisión de dichas vibraciones sobre dos modelos impresos en 3D, diseñados a conveniencia para permitir la evaluación precisa mediante el dispositivo Laser Point LP01. Estos modelos constaban de una horquilla con barras, el diseño del modelo fue realizado en el programa Blender 4.3, para lo cual se tomó en cuenta las dimensiones de la horquilla de goma del dispositivo A10<sup>®</sup>, con la

finalidad de que las barras tuvieran la altura necesaria para dejar pasar el láser de medición (Figura 6).

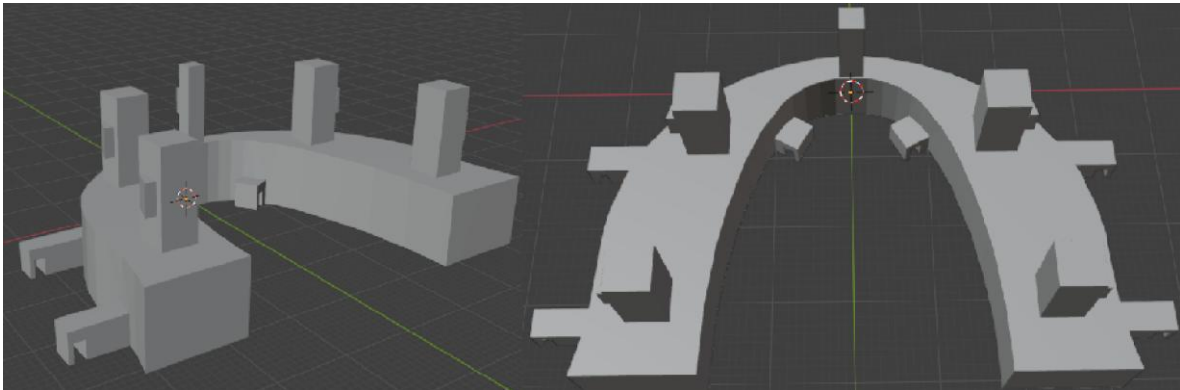


Figura 6: Modelo diseñado a conveniencia para medir la transmisión de las vibraciones, cada barra sobre la horquilla tenía una altura de 12 mm.

Los modelos fueron sostenidos de manera pasiva utilizando una prensa. Además, cada modelo contaba con seis ganchos, en los que se colocaron elásticos intermaxilares de  $\frac{1}{4}$  6 Oz, con la finalidad de simular la mordida de un paciente. Las mediciones se realizaron en cada una de las barras del modelo superior, durante un periodo de 10 minutos por zona. Este procedimiento permitió verificar si las vibraciones eran transmitidas adecuadamente a través del modelo (Figura 7).

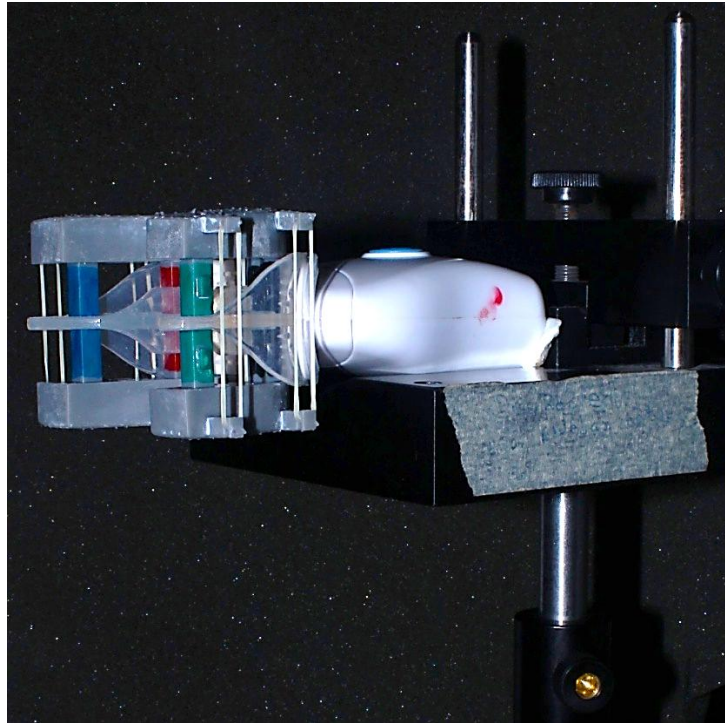


Figura 7: Modelo colocado para la medición de la transmisión de vibraciones, la distancia de extensión de cada elástico es de 41 mm.

### 9.7.2 Evaluación del ajuste de los alineadores termoformados y de impresión directa

Para la evaluación del ajuste de los alineadores primero se procedió a la fabricación de estos; los alineadores termoformados fueron realizados por el investigador, sobre el modelo superior previamente impreso se realizó el termoformado, con ayuda de un Vacuum marca Jintai de MDC, el cual cuenta con una potencia de 600 W en su tubo de calentamiento. El procedimiento de termoformado se llevó a cabo siguiendo las indicaciones del fabricante Dentsply Sirona para el uso del material Essix C+®.

Previo al proceso de termoformado cada modelo fue recortado en forma de herradura. La máquina de vacío fue precalentada durante 2 minutos. Posteriormente, se colocó la lámina plástica en el marco de la máquina, mientras que el modelo fue posicionado sobre la placa base.

Una vez finalizado el precalentamiento, se colocó la fuente de calor sobre la lámina plástica, manteniendo una observación constante. Durante el calentamiento, el plástico Essix C+® comenzó a elevarse en dirección a la fuente de calor, formando ondulaciones. Cuando estas ondulaciones comenzaron a aplanarse y el plástico regresó a su posición inicial, se procedió a realizar el termoformado. En ese momento, se retiró la fuente de calor y se activó el sistema de vacío.

Entre cada ciclo de termoformado se dejó transcurrir un intervalo de una hora, asegurando el enfriamiento completo del equipo y la estandarización de las condiciones del proceso para ambos alineadores fabricados.

Posteriormente, el alineador se colocó de forma pasiva sobre el primer modelo superior. Para simular la oclusión del paciente, se estabilizó mediante el uso de elásticos intermaxilares, generando una ligera compresión que permitió asegurar el asentamiento del alineador durante el análisis. A fin de preservar el ajuste logrado, el contorno del alineador se unió al modelo superior mediante resina fluida fotopolimerizable.

Una vez fijado, el conjunto modelo–alineador fue seccionado bucolingualmente en las zonas previamente seleccionadas (incisivo central, canino, segundo premolar y primer molar derechos), en el centro de la corona, dejando una muestra con un grosor de 5 mm para poder ser llevadas al microscopio electrónico de barrido (SEM). Las secciones obtenidas se prepararon adecuadamente y se recubrieron con una capa conductora para permitir su análisis mediante microscopía electrónica de barrido (SEM).

En el SEM se capturaron microfotografías de alta resolución en las diferentes zonas anatómicas, con el propósito de medir el espacio entre la superficie interna del alineador y la superficie externa del modelo 3D. Estas mediciones permitieron cuantificar el ajuste en micras y comparar las variaciones existentes entre las diferentes zonas dentarias evaluadas.

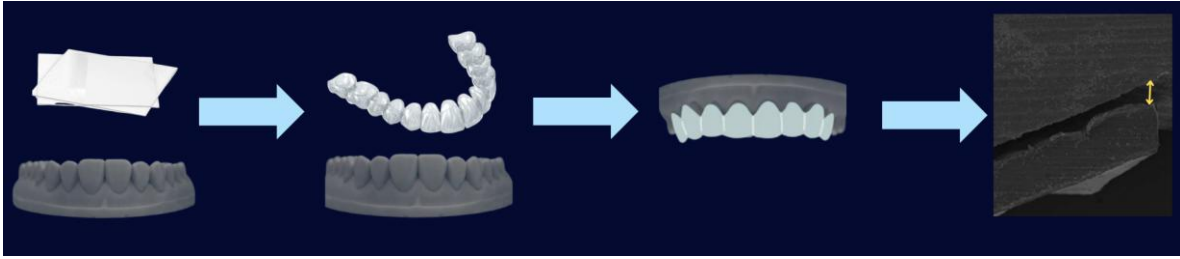


Figura 8: Procedimiento del alineador sin la aplicación de vibraciones.

Para el segundo modelo, una vez obtenido, el alineador fue colocado pasivamente sobre el modelo superior. Luego, se posicionó el modelo inferior en su lugar y ambos modelos fueron estabilizados mediante la colocación de elásticos intermaxilares, simulando las condiciones clínicas de mordida y asegurando el contacto oclusal durante todo el procedimiento.

Con los modelos ensamblados, se procedió a la aplicación de vibraciones de alta frecuencia utilizando el dispositivo A10®. Este fue colocado en contacto con el conjunto modelo-alineador para transmitir las vibraciones, siguiendo los parámetros estandarizados de frecuencia y tiempo establecidos previamente. La aplicación se realizó en una superficie rígida y estable, evitando desplazamientos no deseados durante la transmisión de vibraciones.

Finalizado este proceso, el contorno del alineador fue unido al modelo superior con resina fotopolimerizable para preservar el ajuste alcanzado y evitar modificaciones en su posición. A continuación, el conjunto fue seccionado bucolingualmente en las mismas regiones clínicas de interés (incisivo central, canino, segundo premolar y primer molar derechos) (Fig.9).

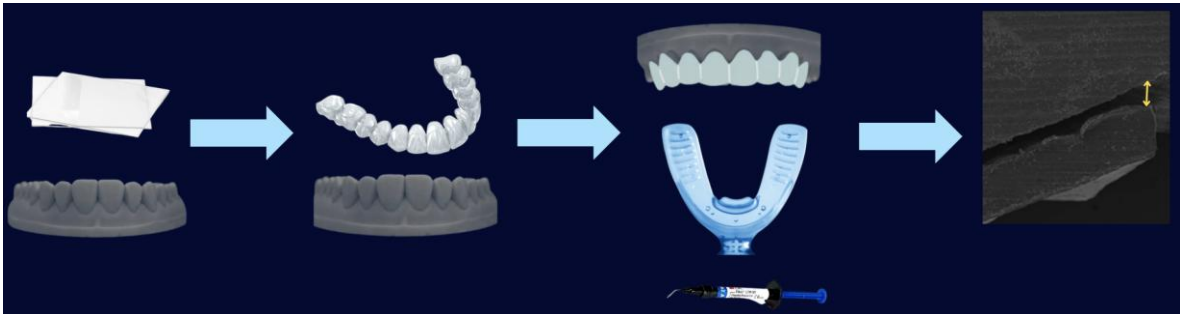


Figura 9: Procedimiento a llevar a cabo del grupo 2.

Las muestras se prepararon para su análisis mediante microscopía electrónica de barrido (SEM), aplicando un recubrimiento metálico conductor. Posteriormente, se capturaron microfotografías de alta resolución para realizar mediciones micrométricas del espacio entre la superficie interna del alineador y la externa del modelo 3D. Esta información fue utilizada para evaluar el impacto de la aplicación de vibraciones de alta frecuencia en el ajuste del alineador.

Una vez colocados los alineadores, tanto con y sin aplicación de vibraciones, sobre los respectivos modelos impresos en 3D, estos fueron llevados al microscopio electrónico de barrido (SEM) en el DICTo, con la finalidad de realizar la evaluación del ajuste entre la superficie interna del alineador y la externa del modelo dental.

Para el análisis, se seleccionaron cuatro órganos dentarios de la arcada superior: incisivo central derecho, canino, segundo premolar y primer molar derechos. En cada uno de ellos se analizaron un total de siete zonas para evaluar de forma precisa el espacio de separación entre el alineador y el modelo (Figura 10). Las mediciones fueron realizadas a partir de microfotografías obtenidas por SEM, registrando la distancia existente entre ambas superficies en cada una de las zonas previamente establecidas

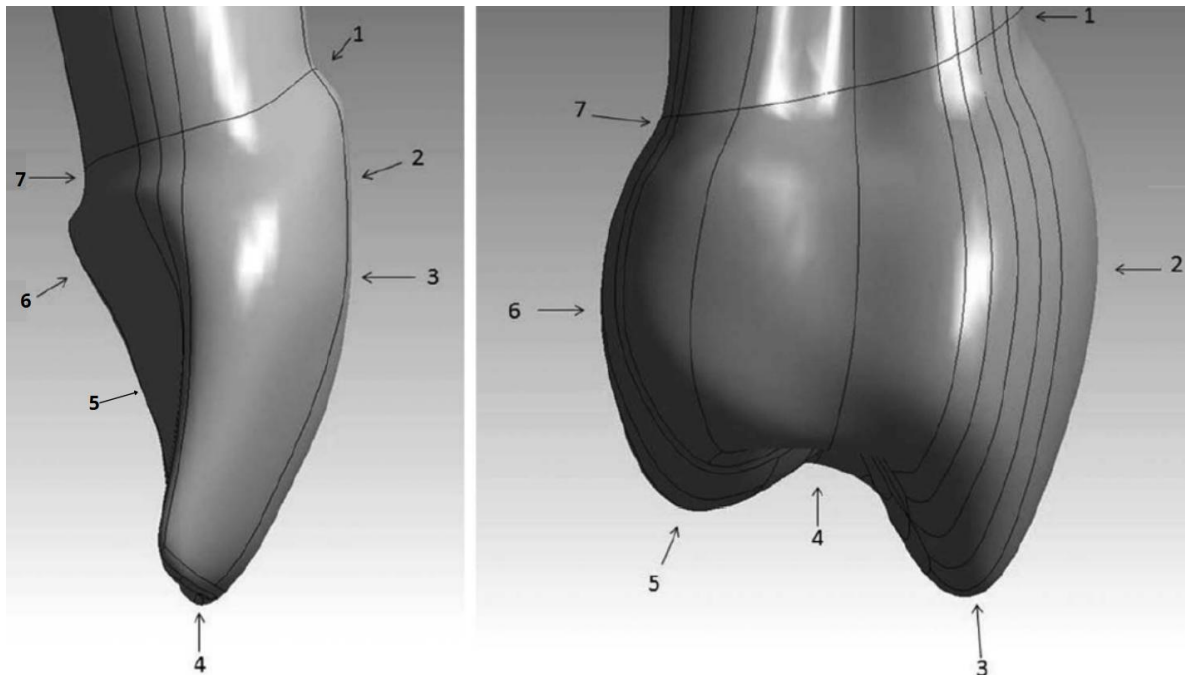


Figura 10. Zonas de evaluación del ajuste entre el alineador y el diente utilizadas para el análisis mediante SEM. Se identificaron un total de siete zonas por diente: desde el borde gingival de la cara bucal (zona 1) hasta la cara incisal/oclusal (zona 4) y el borde gingival de la cara lingual/palatina (zona 7). Fuente: Mantovani et al., 2018.

### 9.8 Análisis estadístico

Los datos obtenidos de las mediciones del ajuste entre los alineadores y los modelos dentales fueron registrados en una base de datos construida en el programa Microsoft Excel 2019. Posteriormente, dicha base fue exportada al software estadístico Jamovi versión 2.6.44 para su análisis.

Se aplicó la prueba t de Student para muestras independientes con el fin de comparar las diferencias de ajuste entre los alineadores con aplicación de vibraciones y aquellos sin vibraciones. El nivel de significancia se estableció en  $p \leq 0.05$ .

## 10. RESULTADOS

### 10.1 Caracterización del dispositivo de vibraciones

La caracterización de las vibraciones emitidas por el dispositivo A10 se realizó utilizando el medidor LaserPoint LP01 de OMS, lo que permitió registrar la frecuencia vibratoria (Hz) en función del tiempo. Esta medición fue llevada a cabo en tres puntos distintos sobre el modelo experimental, con la finalidad de conocer el comportamiento dinámico del dispositivo durante la fase operatoria. Dicha recopilación de datos nos otorga un amplio panorama tanto en condiciones controladas de laboratorio como en su posible uso clínico (Tabla 1).

Tabla 1. Frecuencia de vibración (Hz) registrada por el dispositivo A10® en tres puntos distintos del modelo experimental en un rango de 10 minutos.

Punto 1		Punto 2		Punto 3	
Minutos	Hz	Minutos	Hz	Minutos	Hz
00:16	142	00:17	142	00:16	142
00:27	140	00:23	140	00:19	140
00:31	143	00:25	142	00:30	142
00:34	144	00:32	143	00:40	145
00:49	146	00:42	145	00:54	146
00:56	147	00:50	146	01:00	147
01:02	148	01:01	148	01:03	148
01:13	149	01:16	150	01:14	149
01:16	150	01:30	152	01:22	151
01:31	152	02:00	154	01:37	152
02:02	154	02:05	155	02:09	155
02:25	155	02:28	156	02:45	156
03:01	158	03:06	159	03:23	160
03:20	161	03:25	161	05:05	161
06:00	162	06:28	162	06:08	162
07:30	161	07:35	160	07:44	160
08:32	160	08:45	161	09:05	161
10:00	161	10:00	162	10:00	162

La tabla muestra los valores de frecuencia (en hertz) obtenidos en tres puntos de medición sobre el modelo durante la caracterización dinámica del dispositivo A10®. Se registraron incrementos progresivos desde los primeros minutos de operación hasta estabilizarse en una frecuencia cercana a los 160 Hz. Cada punto representa un área distinta del modelo, permitiendo evaluar la consistencia y distribución de la vibración durante su funcionamiento.

Posterior al análisis de datos se observó que el dispositivo A10 presentó una frecuencia inicial de aproximadamente 140 Hz en el minuto 00:16, dicho valor fue incrementando de manera progresiva hasta alcanzar un valor de 150 Hz después del minuto 01:00. Posteriormente, alcanzó los 160 Hz aproximadamente a los 03:00 minutos, manteniéndose estable entre los 160 y 162 Hz hasta el final del periodo de evaluación. El comportamiento de la vibración fue consistente entre los tres puntos, este análisis sugiere que el dispositivo requiere una fase inicial de adaptación antes de alcanzar su frecuencia máxima de operación, sin embargo, nunca se llegó a la

máxima frecuencia reportada por el fabricante que es de 175 Hz, sin embargo, sí superó el valor mínimo de 160 Hz.

## 10.2 Caracterización de la transmisión de vibraciones

Una vez caracterizada la frecuencia de vibración emitida por el dispositivo A10, se procedió a evaluar la transmisión de las mismas sobre un modelo experimental diseñado a conveniencia, con el objetivo de determinar si, durante el uso clínico simulado, las vibraciones mantenían una distribución homogénea o si se vería afectada por la presión ejercida, dicho análisis resultó fundamental para conocer si la frecuencia de vibración se transmitió de manera efectiva y uniforme a través del modelo, tal como ocurriría en condiciones intraorales.

Tabla 2. Frecuencia de vibración (Hz) registrada en cinco barras de medición durante la transmisión de vibraciones del dispositivo A10® al modelo experimental.

Barra 1		Barra 2		Barra 3		Barra 4		Barra 5	
Minutos	Hz	Minutos	Hz	Minutos	Hz	Minutos	Hz	Minutos	Hz
00:18	145	00:15	147	00:16	148	00:15	142	00:16	142
00:21	146	00:19	151	00:15	151	00:18	143	00:38	144
00:24	147	00:26	153	00:30	155	00:20	144	00:53	146
00:30	149	00:59	157	00:45	157	00:34	148	00:56	147
00:36	150	00:45	158	00:51	158	00:41	150	01:03	148
00:40	151	00:52	159	01:09	159	01:02	152	01:24	151
00:57	153	01:05	160	01:24	160	01:23	153	01:39	152
01:10	155	02:57	161	02:23	161	01:30	155	02:02	154
01:20	156	03:16	159	02:37	162	01:57	157	02:25	155
01:30	157	03:56	158	02:52	161	02:39	156	03:04	159
01:39	159	04:11	159	03:07	162	03:00	158	03:27	161
02:02	161	06:08	158	04:31	161	03:34	157	03:58	158
04:24	162	07:47	157	05:37	160	04:09	155	04:36	160
05:49	162	08:10	158	06:00	161	05:18	156	05:37	161
07:07	158	08:16	159	06:52	160	07:16	157	06:08	162
08:22	160	09:26	155	07:07	159	08:53	155	07:40	160
09:31	161	09:52	160	09:45	157	09:56	155	08:49	161
10:00	161	10:00	161	10:00	157	10:00	155	10:00	161

La tabla presenta los resultados del análisis de transmisión vibratoria en cinco puntos (barras) distribuidos sobre un modelo diseñado para simular condiciones clínicas. Se registra la frecuencia (en Hz) en función del tiempo, permitiendo evaluar la distribución y consistencia de las vibraciones a través del modelo. A pesar de alcanzar frecuencias superiores a 140 Hz desde los primeros minutos, no se observó una estabilización uniforme por encima de los 160 Hz, a diferencia de la caracterización directa del dispositivo.

Al igual que la caracterización directa del dispositivo, se observó que la frecuencia de vibración superó los 140 Hz a partir del minuto 00:15, la cual fue incrementando de manera gradual, sin embargo, a diferencia de lo observado en la caracterización, la frecuencia de vibración no logró estabilizarse de forma sostenida por encima de los 160 Hz después del minuto 03:00.

### 10.3 Medición del ajuste de los alineadores sobre el modelo impreso en 3D

Para evaluar el ajuste de los alineadores termoformados sobre los modelos impresos en 3D, se realizaron las mediciones con ayuda del microscopio electrónico de barrido (SEM), en las que se midió el espacio existente entre la superficie interna del alineador y la superficie externa del modelo dental. Las mediciones se realizaron en siete zonas específicas por órgano dentario, distribuidas estratégicamente para abarcar diferentes áreas de contacto: cervical, tercio medio y tercio incisal/oclusal, en sus aspectos vestibular y palatino/lingual.

En el segundo modelo, se analizó el ajuste del alineador termoformado sobre el modelo 3D tras la aplicación de vibraciones mecánicas de alta frecuencia durante la colocación del alineador. El objetivo fue determinar si dichas vibraciones favorecen una mejor adaptación entre el alineador y la superficie dental, reduciendo posibles espacios o desadaptaciones. Al igual que en el grupo control, se evaluaron siete zonas por órgano dentario mediante imágenes de microscopía electrónica de barrido (SEM), permitiendo una comparación directa entre ambos grupos.

A continuación, se presentan las imágenes correspondientes obtenidas de ambos grupos.

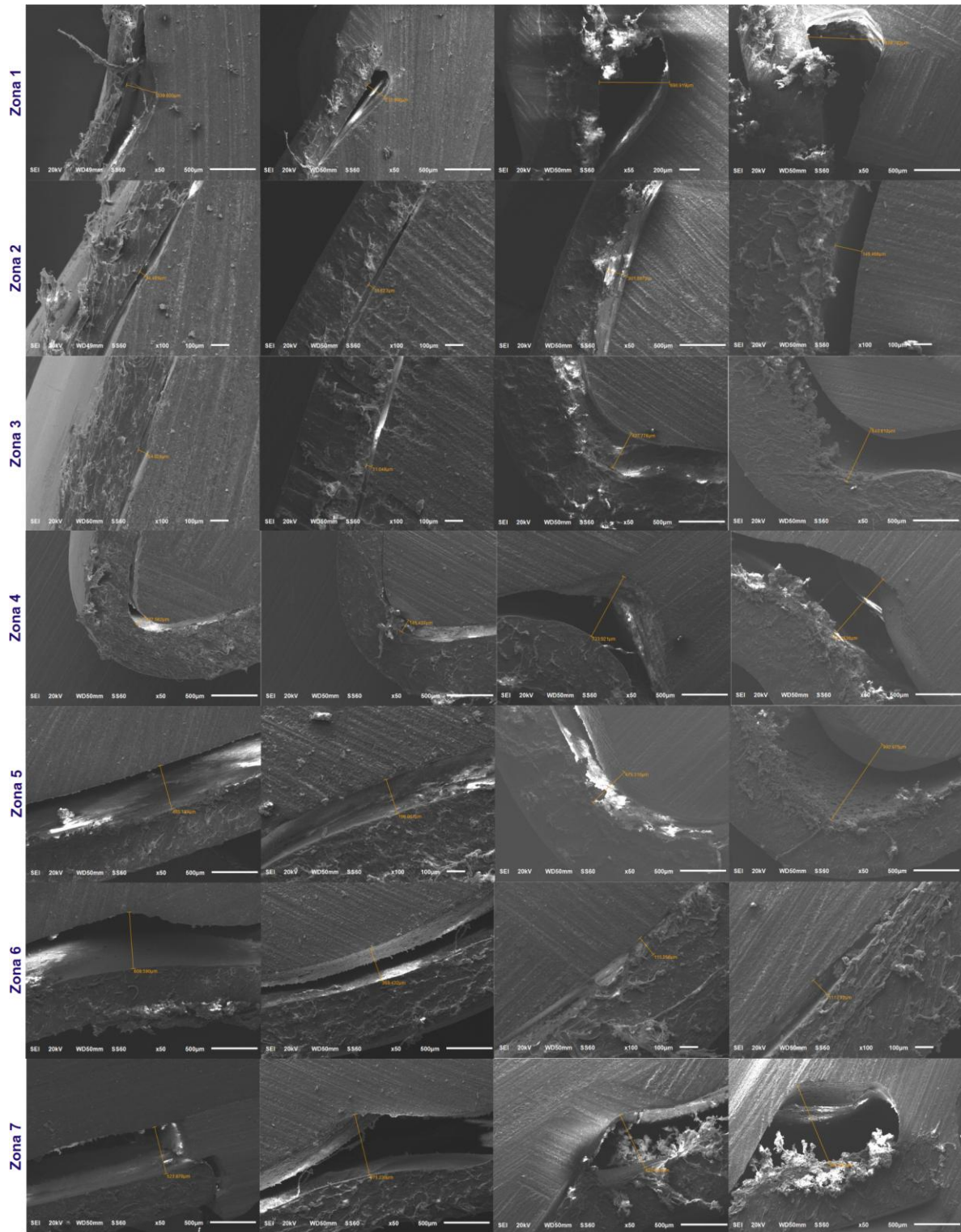


Figura 10: Imágenes obtenidas mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) que muestran las siete zonas de evaluación del ajuste entre el alineador y el modelo dental impreso en 3D, en el grupo sin aplicación de vibraciones, por cada zona de izquierda a derecha se ve el incisivo central, canino, segundo premolar y primer molar.

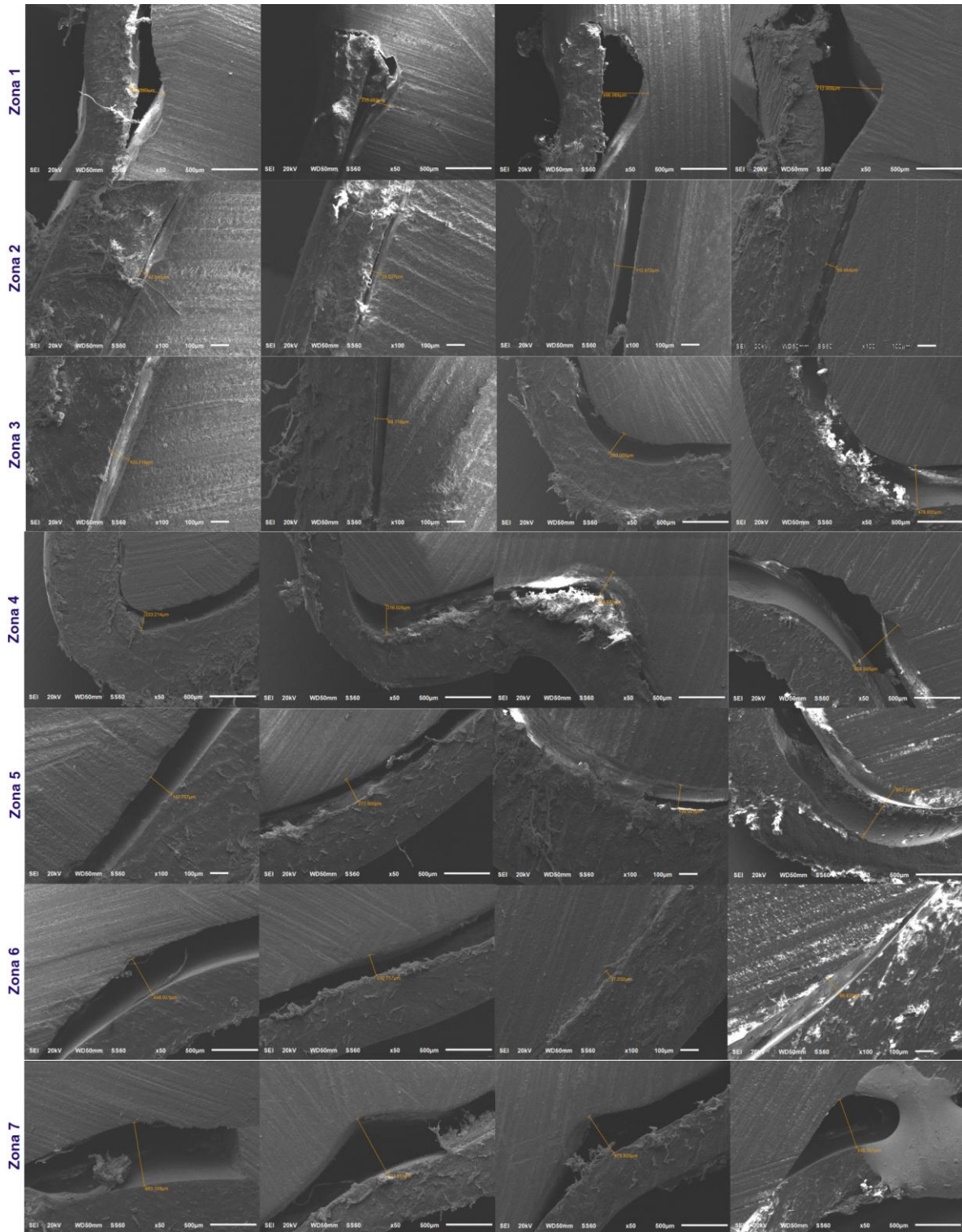


Figura 11: Micrografías SEM correspondientes al grupo con aplicación de vibraciones de alta frecuencia durante la colocación del alineador, de izquierda a derecha por cada zona se observa el incisivo central, canino, segundo premolar y primer molar.

Tabla 3: Resultados de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para las mediciones de ajuste del alineador. En todos los casos se obtuvieron valores de p superiores al nivel de significancia ( $p > 0,05$ ), lo que indica que los datos no se desvían significativamente de una distribución normal. Por lo tanto, fue apropiado emplear la prueba t de Student para comparar los grupos.

Descriptivas	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6	Zona 7
Media	500	89.6	257	425	419	252	638
Mediana	433	57.2	180	358	374	174	646
Desviación estándar	218	70.9	232	275	297	203	128
W de Shapiro-Wilk	0.910	0.824	0.875	0.889	0.892	0.897	0.933
Valor p de Shapiro-Wilk	0.352	0.052	0.170	0.230	0.245	0.272	0.542

Tabla 4. Estadísticos descriptivos de las mediciones de ajuste del alineador en las siete zonas evaluadas (valores expresados en micrómetros,  $\mu\text{m}$ ).

Descriptivas		Datos	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6	Zona 7
Media	Sin Vibraciones		523	112	289	455	537	302	677
	Con Vibraciones		477	67.4	226	394	301	203	599
Desviación estándar	Sin Vibraciones		283	97.1	297	369	332	238	154
	Con Vibraciones		172	31.2	187	193	243	181	102

Cada diente se dividió en siete zonas de medición. En la Tabla 4 se aprecia que la zona 7 presentó el mayor espacio promedio (es decir, el menor ajuste) entre el alineador y el diente, mientras que la zona 2 mostró el espacio más reducido (mejor ajuste). Además, en todas las zonas evaluadas el grupo con vibraciones obtuvo valores promedio menores de separación que el grupo sin vibraciones, reflejando una tendencia a un mejor ajuste con la aplicación de vibraciones; estas diferencias se analizan por zona a continuación.

## ZONA 1

Tabla 5. Comparación del ajuste del alineador en la zona 1 (cervical vestibular) entre el grupo sin vibraciones y el grupo con vibraciones.

Grupo		n	Media	DE +/-	p
Zona 1	Sin Vibraciones	4	523	283	0.791
	Con Vibraciones	4	477	172	0.791

La zona 1 corresponde a la región cervical vestibular del diente. Se observó que en esta zona el grupo sin vibraciones presentó un menor ajuste (mayor espacio entre el alineador y la superficie dental), con un promedio de  $523 \pm 283 \mu\text{m}$ , en comparación con el grupo con vibraciones, que mostró un promedio de  $477 \pm 172 \mu\text{m}$ . Sin embargo, la diferencia entre ambos grupos no fue estadísticamente significativa ( $p = 0,791$ ), tal como se aprecia en la Figura 11.

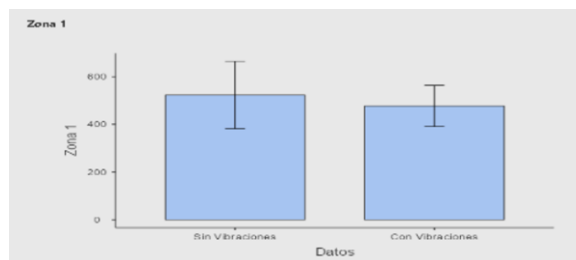


Figura 11. Comparación gráfica del ajuste promedio del alineador en la zona 1 (cervical vestibular) entre el grupo sin vibraciones y con vibraciones.

## ZONA 2

Tabla 6. Comparación del ajuste del alineador en la zona 2 entre el grupo sin vibraciones y el grupo con vibraciones.

	Grupo	n	Media	DE +/-	p
Zona 2	Sin Vibraciones	4	112	97.1	0.416
	Con Vibraciones	4	67.4	31.2	0.416

En la zona 2, de forma semejante, el grupo sin vibraciones mostró un ajuste promedio menor ( $112 \pm 97,1 \mu\text{m}$ ) que el grupo con vibraciones ( $67,4 \pm 31,2 \mu\text{m}$ ). No obstante, dicha diferencia no resultó estadísticamente significativa ( $p = 0,416$ ), lo cual coincide con lo ilustrado en la Figura 12.

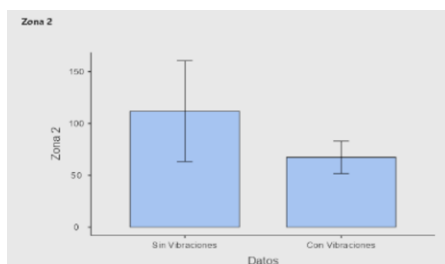


Figura 12. Comparación gráfica del ajuste promedio del alineador en la zona 2 entre el grupo sin vibraciones y con vibraciones.

## ZONA 3

Tabla 7. Comparación del ajuste del alineador en la zona 3 entre el grupo sin vibraciones y el grupo con vibraciones.

	Grupo	n	Media	DE +/-	p
Zona 3	Sin Vibraciones	4	289	297	0.735
	Con Vibraciones	4	226	187	0.735

La zona 3 presentó un comportamiento similar: el promedio de desajuste fue mayor en el grupo sin vibraciones ( $289 \pm 297 \mu\text{m}$ ) que en el grupo con vibraciones ( $226 \pm$

187  $\mu\text{m}$ ). Esta diferencia tampoco fue estadísticamente significativa ( $p = 0,735$ ), tal como muestra la Figura 13.

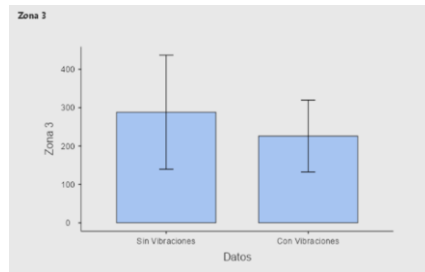


Figura 13. Comparación gráfica del ajuste promedio del alineador en la zona 3 entre el grupo sin vibraciones y con vibraciones.

## ZONA 4

Tabla 8. Comparación del ajuste del alineador en la zona 4 entre el grupo sin vibraciones y el grupo con vibraciones.

	Grupo	n	Media	DE +/-	p
Zona 4	Sin Vibraciones	4	455	369	0.780
	Con Vibraciones	4	394	193	0.780

En la zona 4, el grupo sin vibraciones presentó un espacio promedio ligeramente mayor ( $455 \pm 369 \mu\text{m}$ ) que el grupo con vibraciones ( $394 \pm 193 \mu\text{m}$ ). Al igual que en las zonas previas, la diferencia observada no fue estadísticamente significativa ( $p = 0,780$ ), lo cual se aprecia también en la Figura 14.

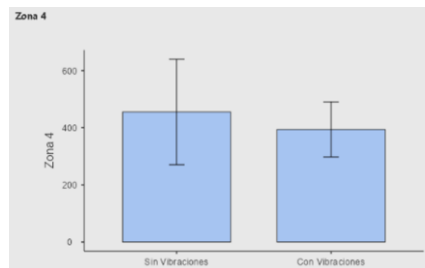


Figura 14. Comparación gráfica del ajuste promedio del alineador en la zona 4 (borde incisal) entre el grupo sin vibraciones y con vibraciones.

## ZONA 5

Tabla 9. Comparación del ajuste del alineador en la zona 5 entre el grupo sin vibraciones y el grupo con vibraciones.

	Grupo	n	Media	DE +/-	p
Zona 5	Sin Vibraciones	4	537	332	0.294
	Con Vibraciones	4	301	243	0.294

La zona 5 mostró el mismo patrón que las zonas anteriores: el grupo sin vibraciones tuvo un ajuste menor (espacio promedio de  $537 \pm 332 \mu\text{m}$ ), en contraste con el grupo con vibraciones ( $301 \pm 243 \mu\text{m}$ ). A pesar de la diferencia numérica apreciable, ésta no alcanzó significación estadística ( $p = 0,294$ ). La Figura 15 ilustra esta comparación para la zona 5.

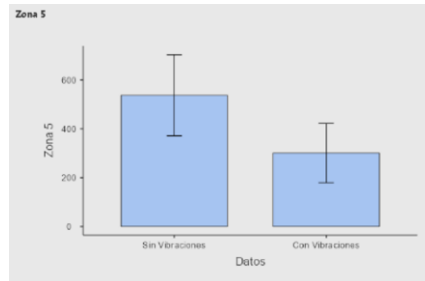


Figura 15. Comparación gráfica del ajuste promedio del alineador en la zona 5 entre el grupo sin vibraciones y con vibraciones.

## ZONA 6

Tabla 10. Comparación del ajuste del alineador en la zona 6 entre el grupo sin vibraciones y el grupo con vibraciones.

	Grupo	n	Media	DE +/-	p
Zona 6	Sin Vibraciones	4	302	238	0.536
	Con Vibraciones	4	203	181	0.536

En la zona 6, el promedio de espacio entre alineador y diente también fue mayor en el grupo sin vibraciones ( $302 \pm 238 \mu\text{m}$ ) frente al grupo con vibraciones ( $203 \pm 181 \mu\text{m}$ ), pero sin diferencias estadísticamente significativas ( $p = 0,536$ ). Nuevamente, la Figura 16 refleja visualmente esta comparación, corroborando la ausencia de diferencias notables entre los grupos.

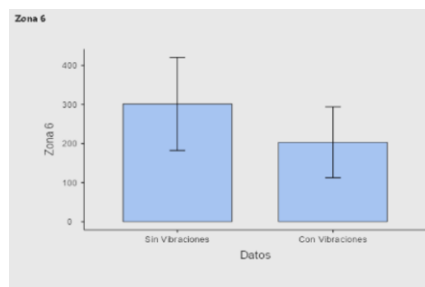


Figura 16. Comparación gráfica del ajuste promedio del alineador en la zona 6 entre el grupo sin vibraciones y con vibraciones.

## ZONA 7

Tabla 11. Comparación del ajuste del alineador en la zona 7 entre el grupo sin vibraciones y el grupo con vibraciones.

	Grupo	n	Media	DE +/-	p
Zona 7	Sin Vibraciones	4	677	154	0.430
	Con Vibraciones	4	599	102	0.430

Por último, la zona 7 (región cervical palatina del diente) presentó los valores de espacio más elevados en ambos grupos. En esta zona, el grupo sin vibraciones registró un promedio de  $677 \pm 154 \mu\text{m}$ , mientras que el grupo con vibraciones mostró  $599 \pm 102 \mu\text{m}$ . A pesar de que el ajuste tendió a ser mejor con vibraciones (menor separación), la diferencia observada no fue estadísticamente significativa ( $p = 0,430$ ), tal como se confirma en la Figura 17.

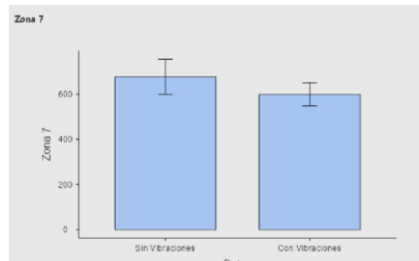


Figura 17. Comparación gráfica del ajuste promedio del alineador en la zona 7 (cervical palatina) entre el grupo sin vibraciones y con vibraciones.

## 11. DISCUSIÓN

La presente investigación tuvo como objetivo principal evaluar el efecto de las vibraciones de alta frecuencia en el ajuste de alineadores termoformados sobre modelos 3D, utilizando para ello un análisis comparativo entre alineadores colocados con y sin vibraciones, así como mediciones precisas obtenidas mediante microscopía electrónica de barrido (SEM). Este estudio se desarrolló bajo un enfoque experimental *in vitro*, incluyendo la caracterización de las vibraciones emitidas por el dispositivo A10<sup>®</sup>, la evaluación de su transmisión al modelo y la medición del ajuste en siete zonas específicas de cada órgano dentario.

El primer objetivo fue caracterizar las vibraciones emitidas por el dispositivo A10<sup>®</sup>, donde se encontró que la frecuencia vibratoria inició en aproximadamente 140 Hz, incrementando progresivamente hasta estabilizarse entre 160 y 162 Hz durante el periodo activo. Si bien el valor máximo reportado por el fabricante (175 Hz) no fue alcanzado, sí se superó el umbral mínimo de 160 Hz. Esto es consistente con lo reportado por Pavlin et al. (2022), quienes señalan que frecuencias en este rango pueden ser clínicamente efectivas al influir en la remodelación ósea con bajo riesgo de reabsorción radicular(28).

El segundo objetivo fue evaluar la transmisión de las vibraciones sobre un modelo experimental. Los resultados mostraron una transmisión efectiva pero no

completamente homogénea, con estabilización cercana a los 160 Hz en la mayoría de los puntos analizados. Esta ligera variabilidad puede explicarse por la geometría del modelo y la interferencia del sistema de mordida simulado con elásticos, como se ha mencionado en estudios biomecánicos similares sobre dispositivos vibratorios (28)

Respecto al ajuste de los alineadores, las mediciones SEM revelaron que el grupo con vibraciones mostró, en promedio, un menor espacio entre el alineador y el modelo en seis de las siete zonas analizadas, lo que sugiere un mejor ajuste. Sin embargo, las diferencias no fueron estadísticamente significativas en ninguna de las zonas, como fue evidenciado por la prueba T de Student con una  $p > 0.05$  en todos los casos. Este hallazgo coincide parcialmente con lo reportado por Shipley et al. (2018), quienes observaron una tendencia a mejorar el asentamiento de alineadores con vibración, aunque sin una diferencia contundente(7).

En contraste, Castroflorio et al. (2017) y Alsino et al. (2023) identificaron que la eficacia de las vibraciones depende de múltiples factores, incluyendo frecuencia, tiempo de aplicación y tipo de movimiento dental, lo cual puede explicar la variabilidad en los resultados y la falta de significancia estadística en estudios de corto plazo o con modelos *in vitro* (7,12).

Desde el punto de vista clínico, los hallazgos de este trabajo sugieren que la aplicación de vibraciones de alta frecuencia podría favorecer el asentamiento del alineador, optimizando su contacto con la superficie dental. Esto es relevante, ya que un mejor ajuste puede traducirse en mayor expresión de los movimientos planificados y posiblemente en una reducción del número de refinamientos necesarios durante el tratamiento. No obstante, el efecto observado no fue estadísticamente significativo, lo que resalta la necesidad de estudios con un tamaño muestral mayor.

Entre las fortalezas del estudio, destaca el uso de un modelo metodológico preciso mediante SEM, la estandarización del diseño experimental y la incorporación de un análisis vibracional objetivo. Como limitaciones, se encuentra el tamaño muestral reducido a un solo paciente y 8 dientes evaluados, la evaluación en condiciones *in vitro* que no replican completamente el entorno oral, y la imposibilidad de repetir las mediciones por limitantes del equipo.

## 12. CONCLUSIÓN

1. La caracterización del dispositivo A10® demostró que alcanza una frecuencia operativa de hasta 162 Hz, sin lograr el máximo reportado por el fabricante (175 Hz), pero sí dentro del rango considerado como alta frecuencia.

2. Las vibraciones de alta frecuencia se transmitieron de manera efectiva al modelo impreso, con una distribución funcional en la mayoría de las zonas evaluadas.
3. El ajuste de los alineadores termoformados, medido mediante SEM en siete zonas por diente, fue mayor en el grupo con aplicación de vibraciones en seis de las siete zonas; sin embargo, las diferencias no fueron estadísticamente significativas ( $p > 0.05$ ).
4. La aplicación de vibraciones mostró una tendencia a mejorar el ajuste de los alineadores, lo que podría representar una ventaja clínica en términos de eficiencia y precisión del tratamiento con alineadores.
5. Dado que no se alcanzaron resultados estadísticamente significativos, la hipótesis científica no puede ser aceptada, por lo que se mantiene la hipótesis nula: La aplicación de vibraciones de alta frecuencia no aumenta significativamente el ajuste de los alineadores termoformados sobre modelos impresos en 3D.

### 13. BIBLIOGRAFÍA

1. Ponitz RJ. Invisible retainers. *Am J Orthod.* 1971 Mar;59(3):266–72. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0002941671900996?via%3Dihub>
2. Kesling HD. The philosophy of the tooth positioning appliance. *Am J Orthod Oral Surg.* 1945 Jun;31(6):297–304. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0096634745901013>
3. Rossini G, Parrini S, Castroflorio T, Deregibus A, Debernardi CL. Efficacy of clear aligners in controlling orthodontic tooth movement: a systematic review. *Angle Orthod.* 2015 Sep;85(5):881–9. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25412265/>
4. Jindal P, Worcester F, Siena FL, Forbes C, Juneja M, Breedon P. Mechanical behaviour of 3D printed vs thermoformed clear dental aligner materials under non-linear compressive loading using FEM. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2020 Dec;112:104045. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1751616120305944>
5. Koenig N, Choi JY, McCray J, Hayes A, Schneider P, Kim KB. Comparison of dimensional accuracy between direct-printed and thermoformed aligners. *Korean J Orthod.* 2022 Jul;52(4):249–57. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35466087/>
6. Park SY, Choi SH, Yu HS, Kim SJ, Kim H, Kim KB, et al. Comparison of thickness, gap width and translucency for 3D-printed and thermoformed clear aligners: a micro-CT analysis. *Sci Rep.* 2023 Jan 30;13(1):10921. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36754894/>
7. Shipley T, Farouk K, El-Bialy T. Effect of high-frequency vibration on orthodontic tooth movement and bone density. *J Orthod Sci.* 2019;8(1):15. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31497574/>
8. Nagib R, Farkas AZ, Szuhaneck C. Finite element analysis of the mechanical behavior of 3D printed orthodontic attachments used in aligner treatment. *Sci Rep.* 2024 Dec;14(1):1–9. Disponible en: <https://www.nature.com/articles/s41598-024-65864-x>
9. Lombardo L, Palone M, Longo M, Arveda N, Nacucchi M, De Pascalis F, et al. Micro-CT X-ray comparison of aligner gap and thickness of six brands of aligners: an in-vitro study. *Prog Orthod.* 2020 Dec;21(1):1–12. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s40510-020-00312-w>
10. Park SY, Choi SH, Yu HS, Kim SJ, Kim H, Kim KB, et al. Comparison of translucency, thickness, and gap width of thermoformed and 3D-printed clear aligners using micro-CT and spectrophotometer. *Sci Rep.* 2023 Dec;13(1):10921. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37407694/>

11. Dentsply Sirona Orthodontics Inc. Essix C+® Plastic – Directions for Use (DFU). MKT-DFU0035-ML Rev. 07; 2024.
12. Castroflorio T, Parrini S, Rossini G. Aligner biomechanics: where we are now and where we are heading for. *J World Fed Orthod*. 2024 Apr;13(2):57–64. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38228450/>
13. Siciliani G, Lombardo L. Alineadores F22. De la investigación a la clínica. 2025. Disponible en: <https://books.google.com.mx/books?id=tb-GEAAAQBAJ>
14. Fung YC. *Biomechanics: Mechanical Properties of Living Tissues*. 2nd ed. New York: Springer; 1993.
15. Jiménez E. Introducción al Análisis de Vibraciones [Internet]. 2025 [cited 14 Jun 2025]. Disponible en: [https://www.academia.edu/83479444/Introducci%C3%B3n\\_al\\_An%C3%A1lisis\\_de\\_Vibraciones](https://www.academia.edu/83479444/Introducci%C3%B3n_al_An%C3%A1lisis_de_Vibraciones)
16. Weaver W, Timoshenko S, Young DH. *Vibration problems in engineering*. 1990. Disponible en: [https://books.google.com/books/about/Vibration\\_Problems\\_in\\_Engineering.html?id=YZ7t8LgRqi0C](https://books.google.com/books/about/Vibration_Problems_in_Engineering.html?id=YZ7t8LgRqi0C)
17. Aljabaa A, Almoammar K, Aldrees A, Huang G. Effects of vibrational devices on orthodontic tooth movement: a systematic review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2018 Dec;154(6):768–79. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30477774/>
18. OMS Corporation. Vibrómetro láser Doppler LaserPoint – características [Internet]. [cited 18 Nov 2024]. Disponible en: <https://www.omscorporation.com/products/laser-point/>
19. Vlasov E, Denisov N, Verbeeck J. Low-cost electron detector for scanning electron microscope. *HardwareX*. 2023 Jun;14:413. Disponible en: <https://www.hardware-x.com/action/showFullText?pii=S2468067223000202>
20. Fischer ER, Hansen BT, Nair V, Hoyt FH, Schwartz CL, Dorward DW. Scanning electron microscopy. *Curr Protoc*. 2024 May;4(5):e1034. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/cpz1.1034>
21. Mantovani E, Castroflorio E, Rossini G, Garino F, Cugliari G, Deregibus A, et al. Scanning electron microscopy evaluation of aligner fit on teeth. *Angle Orthod*. 2018 Sep;88(5):596–601. Disponible en:

[https://www.researchgate.net/publication/325836937\\_Scanning\\_electron\\_microscopy\\_evaluation\\_of\\_aligner\\_fit\\_on\\_teeth](https://www.researchgate.net/publication/325836937_Scanning_electron_microscopy_evaluation_of_aligner_fit_on_teeth)

22. Lombardo L, Palone M, Longo M, Arveda N, Nacucchi M, De Pascalis F, et al. Micro-CT X-ray comparison of aligner gap and thickness of six brands of aligners: an in-vitro study. *Prog Orthod*. 2020 Dec;21(1):1–12. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s40510-020-00312-w>
23. Grünheid T, McCarthy SD, Larson BE. Clinical use of a direct chairside oral scanner: an assessment of accuracy, time, and patient acceptance. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2014 Nov;146(5):673–82. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25439218/>
24. Koenig N, Choi JY, McCray J, Hayes A, Schneider P, Kim KB. Comparison of dimensional accuracy between direct-printed and thermoformed aligners. *Korean J Orthod*. 2022 Jul;52(4):249–57. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35466087/>
25. Kenning KB, Risinger DC, English JD, Cozad BE, Harris LM, Ontiveros JC, et al. Evaluation of the dimensional accuracy of thermoformed appliances taken from 3D printed models with varied shell thicknesses: an *in vitro* study. *Int Orthod*. 2021 Mar;19(1):137–46. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1761722721000097>
26. Tangtanawat P, Thammanichanon P, Suttapreyasri S, Leethanakul C. Light orthodontic force with high-frequency vibration accelerates tooth movement with minimal root resorption in rats. *Clin Oral Investig*. 2023 Apr;27(4):1757–66. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36504247/>
27. Shipley T, Farouk K, El-Bialy T. Effect of high-frequency vibration on orthodontic tooth movement and bone density. *J Orthod Sci*. 2019;8(1):15. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31497574/>
28. Jing D, Xiao J, Li X, Li Y, Zhao Z. The effectiveness of vibrational stimulus to accelerate orthodontic tooth movement: a systematic review. *BMC Oral Health*. 2017;17(1):132. Disponible en: <https://bmcoralhealth.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12903-017-0437-7>

## 14. ANEXOS

### 14.1 Consentimiento Informado

Yo, \_\_\_\_\_, como paciente, y \_\_\_\_\_, como representante legal (en caso de aplicar, en pleno uso de mis facultades mentales, libre y voluntariamente, manifiesto que: AUTORIZO a la alumna \_\_\_\_\_, para que utilice el escaneo de mi valoración para el proyecto de investigación titulado **“Caracterización de vibraciones mecánicas en el ajuste de alineadores de impresión directa y termoformados sobre modelos impresos”**.

Se me ha informado de manera clara que dicho escaneo será utilizado exclusivamente para su impresión y que servirá para evaluar el ajuste que existe entre el modelo de impresión y un alineador dental. Asimismo, se me ha explicado que mi identidad no será revelada y que los datos obtenidos se manejarán con estricta confidencialidad conforme a las normativas éticas y legales vigentes en la investigación en salud.

Declaro que todas mis dudas han sido resueltas de manera clara y que he decidido participar en este estudio de manera libre y voluntaria, sin recibir ningún tipo de presión o condicionamiento.

_____ Nombre y firma del paciente	_____ Fecha
_____ Nombre y firma del testigo	_____ Fecha
_____ Nombre y firma del testigo	_____ Fecha

### REVOCACIÓN DE CONSENTIMIENTO

Entiendo que mi participación en este estudio es completamente voluntaria y que tengo el derecho de revocar mi consentimiento en cualquier momento, sin necesidad de justificar mi decisión y sin que esto implique perjuicio alguno para mí. En caso de revocación, mis datos y muestras serán eliminados del estudio.

_____ Nombre y firma del paciente	_____ Fecha
_____ Nombre y firma del testigo	_____ Fecha
_____ Nombre y firma del testigo	_____ Fecha