



Universidad Católica de Santa María

Facultad de Odontología

Segunda Especialidad en Ortodoncia y Ortopedia Maxilar

**Comparación de las propiedades físico-mecánicas y estéticas de tres
marcas de laminas para retenedores termoformados disponibles en el
mercado peruano: Essix, Bio-Art y Track, Arequipa - 2025**

Tesis Presentada por:

Calderón Vilca, Luis Hernán

ORCID: 0009-0009-3231-3988

Para optar el Título de Segunda Especialidad en Ortodoncia y Ortopedia Maxilar

Asesor:

Dr. Bernal Riquelme, Pedro Paul

ORCID: 0000-0002-9083-6914

Arequipa - Perú

2026

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

SEGUNDA ESPECIALIDAD EN ORTODONCIA Y ORTOPEDIA MAXILAR

SEGUNDA ESPECIALIDAD CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 20 de Abril del 2026

Dictamen: 016658-C-FO-2026

Visto el borrador del expediente 016658, presentado por:

2015972841 - CALDERÓN VILCA LUIS HERNÁN

Titulado:

**COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS Y ESTÉTICAS DE TRES MARCAS DE
LAMINAS PARA RETENEDORES TERMOFORMADOS DISPONIBLES EN EL MERCADO PERUANO:
ESSIX, BIO-ART Y TRACK, AREQUIPA - 2025**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

Titulo Profesional/Titulo de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

ORTODONCIA Y ORTOPEDIA MAXILAR

**29424774 - ROJAS MANRIQUE GUSTAVO RAMIRO
DICTAMINADOR**



**42198922 - GALLEGOS MISAD PEDRO PABLO
DICTAMINADOR**



**29618834 - CENTENO SAN ROMAN GILBERTO
DICTAMINADOR**



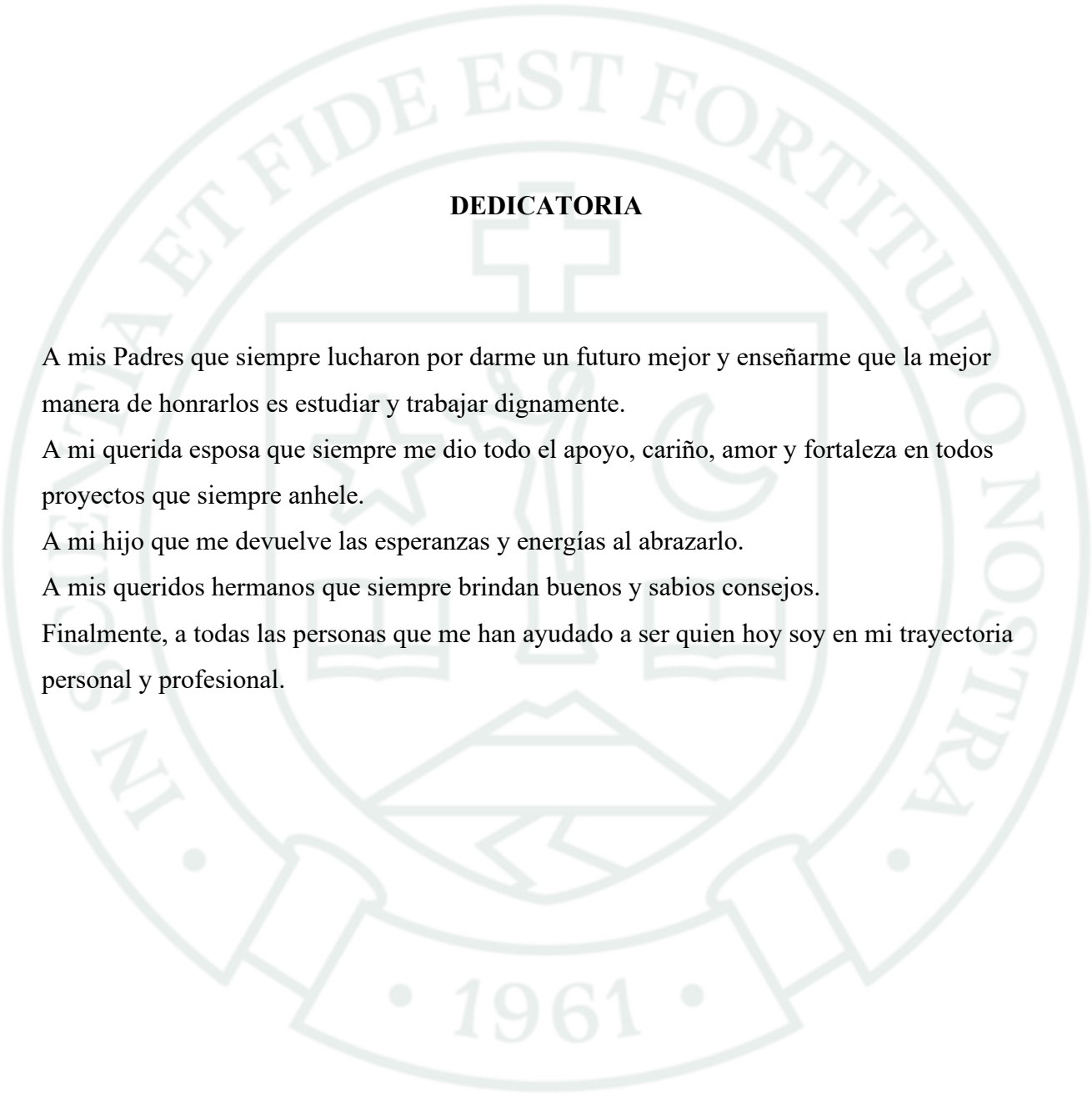
Comparación de las propiedades físico-mecánicas y estéticas de tres marcas de laminas para retenedores termoformados disponibles en el mercado peruano: Essix, Bio-Art y Track, Arequipa - 2025

INFORME DE ORIGINALIDAD

15%	14%	4%	7%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Católica de Santa María	3%
	Trabajo del estudiante	
2	repositorio.ucsm.edu.pe	2%
	Fuente de Internet	
3	repositorioacademico.upc.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
4	tesis.ucsm.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
5	repositorio.ucv.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
6	institutoideod.es	1%
	Fuente de Internet	
7	dspaceapi.uai.edu.ar	<1%
	Fuente de Internet	



DEDICATORIA

A mis Padres que siempre lucharon por darme un futuro mejor y enseñarme que la mejor manera de honrarlos es estudiar y trabajar dignamente.

A mi querida esposa que siempre me dio todo el apoyo, cariño, amor y fortaleza en todos proyectos que siempre anhele.

A mi hijo que me devuelve las esperanzas y energías al abrazarlo.

A mis queridos hermanos que siempre brindan buenos y sabios consejos.

Finalmente, a todas las personas que me han ayudado a ser quien hoy soy en mi trayectoria personal y profesional.

AGRADECIMIENTOS

A Dios que me ha dado tantas bendiciones, y cuida mis pasos a través de sus señales.

A mis Maestros de la especialidad que me enseñaron a través de su virtud lo maravilloso que es la Ortodoncia.



EPÍGRAFE

“Cada dificultad es un paso más en el camino hacia la victoria.”

Che Guevara

RESUMEN

Objetivo: Comparar las propiedades físico-mecánicas y estéticas de tres marcas de láminas termoformadas empleadas en retenedores ortodóncicos: Essix, Bio-Art y Track.

Metodología: Se realizó un estudio cuantitativo, observacional y comparativo in vitro. Las láminas de 1 mm se termoformaron con una máquina Bio-Art PlastPress® y se elaboraron probetas para los ensayos de flexión (ASTM D790), dureza Shore D (ASTM D2240) y transparencia mediante el Índice de Transmitancia Relativa (ITR%). Los datos fueron analizados mediante estadística descriptiva, prueba de normalidad Shapiro–Wilk y comparaciones inferenciales mediante ANOVA o Kruskal–Wallis, con pruebas post hoc según correspondía.

Resultados: Se encontraron diferencias significativas entre las marcas en resistencia a la flexión y transparencia. Track mostró la mayor resistencia flexural (107.97 MPa), seguida de Essix (89.43 MPa) y Bio-Art con el valor más bajo (24.97 MPa) ($p < 0.001$). En dureza Shore D no se hallaron diferencias estadísticamente significativas entre Essix (65.13), Track (64.10) y Bio-Art (63.68) ($p = 0.779$). Respecto a la transparencia óptica, Essix presentó el mayor Índice de Transmitancia Relativa (ITR%) con 89,22%, seguida de Track con 88,03%, siendo ambas superiores al valor registrado por Bio-Art (82,70%) ($p < 0,001$).

Conclusiones: Las propiedades físicas y estéticas de las láminas termoformadas varían según la marca. La marca Track destacó por su mayor resistencia a la flexión, mientras que en la dureza superficial no se observaron diferencias significativas entre las marcas y finalmente la marca Essix mostró la mejor transparencia óptica. Estos hallazgos brindan evidencia objetiva para orientar la selección de materiales en la fase de retención ortodóncica.

Palabras clave:

Essix, Bio-Art, Track.

ABSTRACT

Objective: To compare the physical–mechanical and esthetic properties of three brands of thermoformed sheets used in orthodontic retainers: Essix, Bio-Art, and Track.

Methods: A quantitative, observational, and comparative in vitro study was conducted. The 1-mm sheets were thermoformed using a Bio-Art PlastPress® machine, and specimens were prepared for flexural testing (ASTM D790), Shore D hardness (ASTM D2240), and transparency evaluation using the Relative Transmittance Index (ITR%). Data were analyzed using descriptive statistics, the Shapiro–Wilk normality test, and inferential comparisons through ANOVA or Kruskal–Wallis, with corresponding post hoc tests.

Results: Significant differences were found among the evaluated brands in flexural strength and optical transparency. Track exhibited the highest flexural strength (107.97 MPa), followed by Essix (89.43 MPa), while Bio-Art showed the lowest value (24.97 MPa), with statistically significant differences between groups ($p < 0.001$). No statistically significant differences were observed in Shore D hardness among Essix (65.13), Track (64.10), and Bio-Art (63.68) ($p = 0.779$). Regarding transparency, Essix achieved the highest Relative Transmittance Index (ITR%) at 89.22%, followed by Track at 88.03%, with both materials demonstrating higher transparency values than Bio-Art (82.70%) ($p < 0.001$).

Conclusions: The physical and esthetic properties of thermoformed sheets vary according to the brand. Track demonstrated the highest flexural strength, no significant differences were found among brands in surface hardness, and Essix exhibited the best optical transparency. These findings provide objective evidence to guide material selection during the orthodontic retention phase.

Keywords:

Essix, Bio-Art, Track.

INDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

EPÍGRAFE

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCION 1

CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO TEORICO..... 3

1 PROBLEMA DE LA INVESTIGACION..... 4

1.1 DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA..... 4

1.2 ENUNCIADO..... 6

1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA..... 6

1.3.1 ÁREA DEL CONOCIMIENTO 6

1.3.2 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES 7

1.3.3 INTERROGANTES BÁSICAS..... 8

1.3.4 TAXONOMÍA DE LA INVESTIGACIÓN 8

1.4 JUSTIFICACIÓN 8

1.4.1 NOVEDAD U ORIGINALIDAD..... 8

1.4.2 RELEVANCIA CIENTÍFICA..... 9

1.4.3 FACTIBILIDAD..... 9

1.4.4 INTERÉS PERSONAL 9

1.5 OBJETIVOS 9

1.5.1 OBJETIVO GENERAL..... 9

1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... 9

2 MARCO TEÓRICO 10

2.1 ORTODONCIA Y ESTABILIDAD POST-TRATAMIENTO..... 10

2.1.1 OBJETIVOS DE LA RETENCIÓN EN ORTODONCIA 10

2.1.2 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA RECIDIVA 10

2.1.3 IMPORTANCIA DE LA FASE DE RETENCIÓN 11

2.2 RETENEDORES EN ORTODONCIA 12

2.2.1 CONCEPTO Y FINALIDAD DE LOS RETENEDORES 12

2.2.2 CLASIFICACIÓN DE RETENEDORES 12

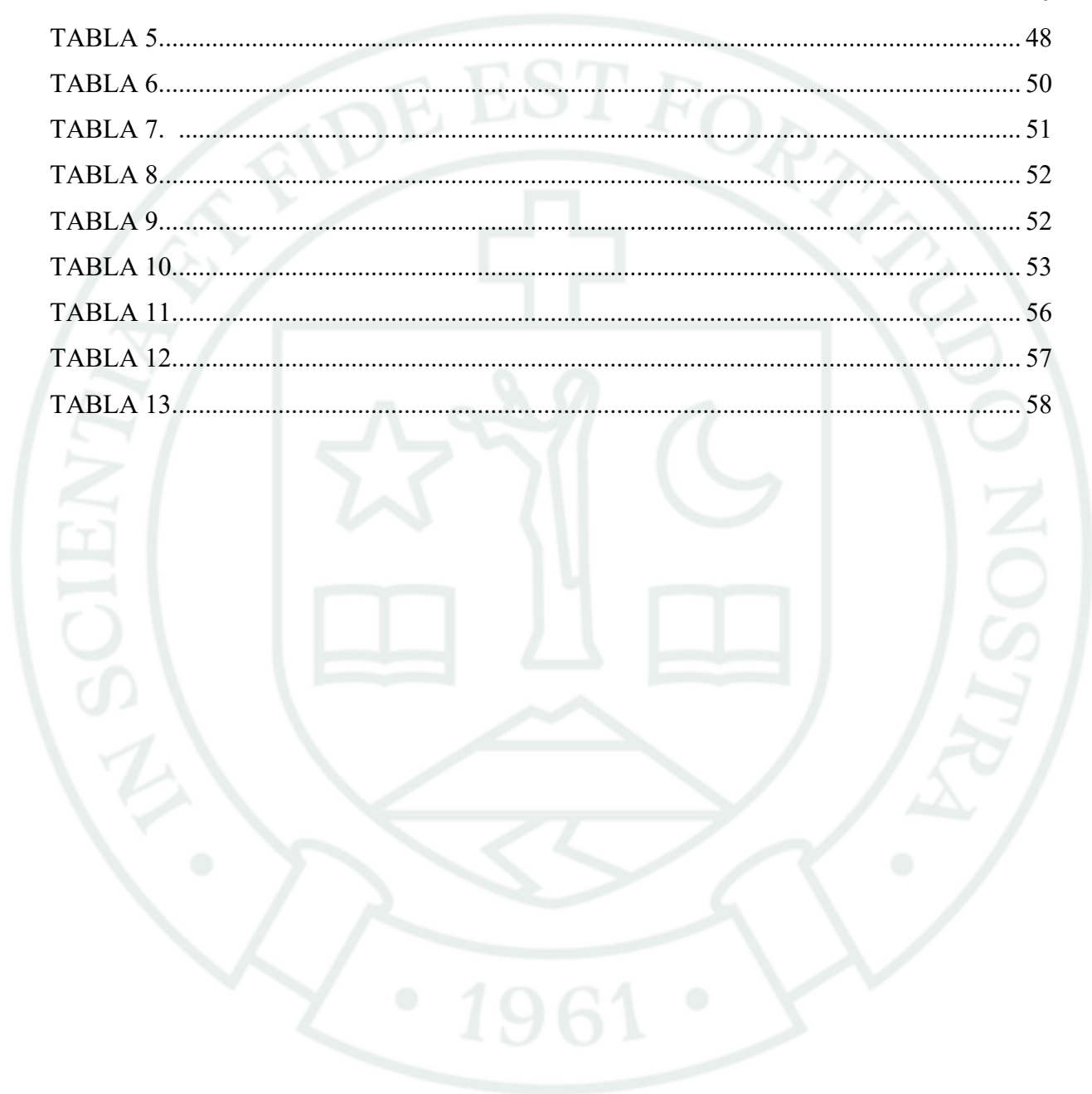
2.2.3 INDICACIONES CLÍNICAS DE CADA TIPO	12
2.3 RETENEDORES TERMOFORMADOS.....	14
2.3.1 DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS	14
2.3.2 MATERIALES EMPLEADOS	14
2.3.3 GROSOR RECOMENDADO SEGÚN LITERATURA.....	15
2.3.4 DURACIÓN CLÍNICA Y RESISTENCIA AL DESGASTE	15
2.3.5 ESTUDIOS SOBRE DEFORMACIÓN Y FRACTURA.....	15
2.3.6 EFICACIA EN LA RETENCIÓN POST-ORTODONCIA	16
2.4 RETENEDORES FIJOS.....	16
2.4.1 DEFINICIÓN Y TIPOS DE ALAMBRES UTILIZADOS.....	16
2.4.2 INDICACIONES CLÍNICAS.....	17
2.4.3 EFICACIA EN LA ESTABILIDAD DENTARIA.....	17
2.4.4 COMPLICACIONES FRECUENTES	18
2.5 COMPARACIÓN ENTRE RETENEDORES TERMOFORMADOS Y FIJOS	18
2.5.1 ESTABILIDAD DENTARIA A CORTO Y LARGO PLAZO.....	19
2.5.2 COMODIDAD PERCIBIDA POR EL PACIENTE.....	19
2.5.3 HIGIENE Y SALUD PERIODONTAL	20
2.5.4 COSTO-BENEFICIO	20
2.5.5 CUMPLIMIENTO DEL PACIENTE.....	21
2.6 FACTORES QUE AFECTAN LA EFICACIA DE LOS RETENEDORES	21
2.6.1 GROSOR Y CALIDAD DEL MATERIAL	21
2.6.2 TIEMPO DE USO DIARIO	21
2.6.3 HÁBITOS DEL PACIENTE	22
2.6.4 CONTROL Y SEGUIMIENTO CLÍNICO	22
2.7 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS	23
2.7.1 ANTECEDENTES INTERNACIONALES	23
2.7.2 ANTECEDENTES NACIONALES	24
3 HIPÓTESIS	26
3.1 HIPÓTESIS ALTERNA.....	26
3.2 HIPÓTESIS NULA	26
CAPITULO II PLANTEAMIENTO OPERACIONAL	27
1 TÉCNICAS, INSTRUMENTOS Y MATERIALES DE VERIFICACIÓN	28
1.1 TÉCNICA	28

1.1.1 ESPECIFICACIÓN DE LA TÉCNICA	28
1.1.2 ESQUEMATIZACIÓN	28
1.1.3 DESCRIPCIÓN DE LA TÉCNICA	28
1.2 INSTRUMENTOS.....	32
1.2.1 INSTRUMENTO DOCUMENTAL	32
1.2.2 INSTRUMENTOS MECANICOS	33
1.2.3 MATERIALES DE VERIFICACION.....	34
2 CAMPO DE VERIFICACIÓN	34
2.1 UBICACIÓN ESPACIAL	34
2.2 UBICACIÓN TEMPORAL.....	34
2.3 UNIDADES DE ESTUDIO.....	34
3 ESTRATEGIA DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	35
3.1 ORGANIZACIÓN.....	35
3.2 RECURSOS.....	36
3.3 VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO	36
3.3.1 VERIFICACIÓN DE CALIBRACIÓN.....	37
3.3.2 VERIFICACIÓN DE CONFORMIDAD NORMATIVA.....	37
3.3.3 ENSAYO PRELIMINAR DE CONTROL.....	37
3.3.4 CERTIFICACIÓN INTERNA DE APTITUD PARA USO	37
3.3.5 RESPALDO INSTITUCIONAL	38
4 ESTRATEGIA PARA MANEJAR RESULTADOS	38
4.1 PLAN DE PROCESAMIENTO DE DATOS	38
4.1.1 TIPO DE PROCESAMIENTO	38
4.2 PLAN DE OPERACIONES	38
4.2.1 CLASIFICACIÓN	38
4.2.2 CODIFICACIÓN.....	39
4.2.3 CONTEO O PUNTUACIÓN.....	40
4.2.4 PLAN DE TABULACIÓN	40
4.2.5 PLAN DE GRAFICACIÓN	41
4.2.6 PLAN DE ANÁLISIS DE DATOS	41
4.3 CONSIDERACIONES ÉTICAS	42
CAPITULO III RESULTADOS	43
1 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN	44

1.1 ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA.....	44
1.2 PRUEBAS DE NORMALIDAD.....	45
1.3 COMPARACIÓN ENTRE MARCAS	45
1.4 COMPARACIONES POST HOC.....	46
1.5 REPRESENTACIÓN GRAFICA.....	47
2 DUREZA SUPERFICIAL.....	48
2.1 ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA.....	48
2.2 COMPARACIÓN ENTRE MARCAS	49
3 TRANSPARENCIA.....	51
3.1 ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA.....	51
3.2 PRUEBAS DE NORMALIDAD Y HOMOGENEIDAD	52
3.3 COMPARACIÓN ENTRE MARCAS	53
3.4 REPRESENTACIÓN GRAFICA.....	54
3.5 COMPARACIONES POST HOC	56
DISCUSION.....	59
CONCLUSIONES	62
RECOMENDACIONES	63
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	64

INDICE DE TABLAS

TABLA 1.....	44
TABLA 2.....	45
TABLA 3.....	45
TABLA 4.....	46
TABLA 5.....	48
TABLA 6.....	50
TABLA 7.	51
TABLA 8.....	52
TABLA 9.....	52
TABLA 10.....	53
TABLA 11.....	56
TABLA 12.....	57
TABLA 13.....	58



INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.....	47
FIGURA 2.....	49
FIGURA 3.....	54
FIGURA 4.....	55



INDICE DE ANEXOS

Anexo N°1	70
Anexo N°2	71
Anexo N°3	72
Anexo N°4	73
Anexo N°5	74
Anexo N°6	75
Anexo N°7	76
Anexo N°8	77
Anexo N°9	79
Anexo N°10	80
Anexo N°11	81
Anexo N.º 12	82
Anexo N.º 13	83
Anexo N.º 14	84
Anexo N.º 15	85
Anexo N.º 16	86

INTRODUCCION

En las últimas décadas, la ortodoncia ha experimentado una evolución significativa, y la estabilidad post-tratamiento se ha consolidado como una preocupación central. La fase de retención resulta fundamental para prevenir la recidiva, un fenómeno que puede presentarse en aproximadamente en más de la mitad de los casos.

En este escenario, los retenedores termoformados (VFRs), también conocidos como retenedores de vacío o Essix, han adquirido una notable popularidad entre ortodoncistas y pacientes. Esta preferencia se debe principalmente a su apariencia prácticamente transparente, su facilidad de fabricación y su menor costo en comparación con otros tipos de retenedores.

No obstante, pese a sus ventajas estéticas, los VFRs presentan limitaciones importantes, como desgaste oclusal, fracturas y rupturas del material, factores que se traducen en una vida útil reducida y una mayor tasa de fallos. La durabilidad y el desempeño clínico del retenedor dependen directamente de las propiedades físico-mecánicas de las láminas termoplásticas utilizadas, entre ellas la resistencia, la dureza y la transparencia.

A pesar de su creciente uso, existe escasa investigación independiente y objetiva que compare estas propiedades entre distintas marcas de láminas comerciales en mercados específicos, como el peruano. Frente a esta necesidad, el presente estudio se orientó a comparar las propiedades físico-mecánicas y estéticas de tres marcas de láminas para retenedores termoformados (Essix, Bio-Art y Track) disponibles en el Perú.

El trabajo se estructura para abordar esta comparación de manera sistemática. Consta de tres capítulos principales:

- El Capítulo I desarrolla el planteamiento teórico, e incluye la descripción del problema, los objetivos y el marco conceptual.
- El Capítulo II presenta el planteamiento operacional, detallando las técnicas, instrumentos y materiales empleados en los ensayos de laboratorio.
- El Capítulo III expone el procesamiento y análisis de los resultados, la discusión, las conclusiones y las recomendaciones.

Se espera que los hallazgos de esta investigación contribuyan a que los profesionales de la ortodoncia seleccionen materiales de forma más informada, optimizando la durabilidad, el desempeño clínico y la satisfacción del paciente en la fase de retención.





CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO TEORICO

1 PROBLEMA DE LA INVESTIGACION

1.1 DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA

Después de la fase activa del tratamiento de ortodoncia, la estabilidad de los resultados es una preocupación principal, siendo la fase de retención crucial para prevenir la recidiva, que puede ocurrir en aproximadamente el 70% de los casos (1). La selección del retenedor adecuado es, por lo tanto, indispensable para la preservación de la alineación dentaria a largo plazo (2).

En las últimas décadas, los retenedores termoformados (VFRs, por sus siglas en inglés), igualmente denominados retenedores de vacío, "clear overlay retainers" o "Essix retainers", han experimentado un aumento significativo en popularidad entre los ortodoncistas y pacientes(3) (4). Las ventajas que han impulsado su uso masivo incluyen su estética superior al ser prácticamente transparentes, una mayor satisfacción del paciente, su facilidad de fabricación y un valor pecuniario ostensiblemente inferior si se le contrasta con otros tipos de retenedores (5). Además, al encapsular completamente la dentición, se ha sugerido que los VFRs ofrecen una retención superior para el alineamiento de los dientes anteriores en comparación con los retenedores Hawley (1). La facilidad de limpieza también ha sido reportada como una ventaja por los pacientes (6).

Sin embargo, a pesar de sus beneficios, los VFRs presentan una serie de desafíos y desventajas que afectan su durabilidad y la salud bucal. Los problemas comunes incluyen el desgaste oclusal, la fractura y la rotura del material, lo que se traduce en una alta tasa de fallos. Un estudio prospectivo reportó que en 24 meses, 36 de 78 pacientes experimentaron fallos en sus VFRs, siendo el desgaste oclusal y la fractura los tipos de fallos más frecuentes. Otros estudios han reportado tasas de rotura de hasta el 22% para VFRs modificados en un año(4). La decoloración es otro problema reportado, que puede afectar la estética y la percepción de higiene por parte del paciente (7).

Desde una perspectiva de salud bucal, la presencia de un retenedor termoplástico en la boca puede afectar la flora oral, favoreciendo la acumulación de bacterias cariogénicas como *Streptococcus mutans* y *Lactobacillus* (8). Esto se debe, en parte, a la intensificación de la microrugosidad superficial del sustrato material, por el uso intraoral incrementa la acumulación de placa dental (8). Los pacientes también pueden experimentar incomodidad, dolor, sensibilidad y dificultades en el habla o la masticación, aunque la adaptación suele ocurrir con

el tiempo y la percepción de comodidad y estética de los VFRs es a menudo mejor que la de los retenedores Hawley (6). Un estudio incluso encontró una ligera pérdida de inserción periodontal asociada con el uso de VFRs, si bien fue clínicamente insignificante (2).

Los VFRs se fabrican a partir de diversos polímeros termoplásticos, como el poliuretano (PU), el polietilentreftalato glicol (PETG) y el polipropileno (PP) (5), así como copolímeros. Las propiedades físico-mecánicas de estos materiales, incluyendo la resistencia a la tracción, la dureza, la rugosidad superficial, la tenacidad frente a la abrasión y la resiliencia ante la fatiga y la transparencia, son factores críticos que determinan la durabilidad y eficacia clínica del retenedor. Estas propiedades pueden verse comprometidas por factores intraorales como la humedad, la temperatura, el envejecimiento, la placa y las enzimas, y de manera importante, por los métodos de limpieza y los agentes químicos utilizados por los pacientes (9). Por ejemplo, se ha demostrado que la resistencia al desgaste varía significativamente entre los materiales, siendo los copolímeros de polietileno más resistentes que el polipropileno (5). Además, la exposición a ambientes ácidos (como el ácido gástrico en pacientes con reflujo) puede reducir la resistencia a la flexión y provocar cambios de color significativos en los materiales (10).

A pesar de la creciente popularidad de los VFRs y la constante entrada de nuevos materiales al mercado, existe una falta de investigación independiente y objetiva que evalúe sus propiedades. La información proporcionada por los fabricantes suele ser limitada. Aunque se han realizado estudios sobre la eficacia de los VFRs en la retención, la salud periodontal y la aceptación del paciente, persisten inconsistencias y limitaciones, como la evaluación a corto plazo o el uso de un solo tipo de material (5). La necesidad de comparar exhaustivamente las propiedades físico-mecánicas y estéticas de diferentes marcas de láminas para retenedores termoformados, específicamente aquellas disponibles en un mercado regional como el peruano, es fundamental. Esta investigación facilitará a los especialistas en ortodoncia la adopción de determinaciones sustentadas en un acervo informativo más sólido y refinado al seleccionar los materiales, optimizando así la durabilidad, la eficacia clínica así como el grado de complacencia del paciente en el contexto local.

1.2 ENUNCIADO:

“Comparación de las propiedades físico-mecánicas y estéticas de tres marcas de láminas para retenedores termoformados (Essix, Bio-Art y Track) disponibles en el mercado peruano – Arequipa, 2025.”

1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

1.3.1 ÁREA DEL CONOCIMIENTO

- ÁREA GENERAL O MACRO DIVISORIA: Ciencias de la Salud
- ÁREA ESPECÍFICA O DE CARRERA: Odontología
- ESPECIALIDAD: Ortodoncia
- LÍNEA: Materiales odontológicos aplicados a ortodoncia

1.3.2 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES:

VARIABLE	DEF. TEORICA	DEF. OPERATIVA	DIMENSIONES	INDICADOR	TIPO ESTADISTICO	ESCALA	DATO	INSTRUMENTO
<i>Variable independiente:</i> Marca de lámina para retenedor termoformado	Clasificación de los materiales termoplásticos utilizados en ortodoncia para la confección de retenedores, diferenciados por marca comercial y composición.	Identificación de la marca de lámina utilizada en cada muestra	Essix	Marca registrada en ficha técnica del fabricante	Descriptivo	Nominal	Essix, Bio-Art, Track	Registro de ficha técnica del producto
			Bio-Art					
			Track					
<i>Variable dependiente:</i> Propiedades físico-mecánicas y estéticas de las láminas termoformadas	Características medibles que determinan el desempeño mecánico y la apariencia estética del material, evaluadas bajo normas técnicas estandarizadas	Resultados de las pruebas realizadas sobre las láminas termoformadas	Dureza	ShD	Descriptivo	Escalar	Valores de Pa, Shore D, ITR%*	Durómetro Shore D
			Flexión	Mpa				Máquina universal de ensayos
			Transparencia	%TP				Luxometro

1.3.3 INTERROGANTES BÁSICAS

INTERROGANTE GENERAL:

- ¿Cuáles son las diferencias en las propiedades físico-mecánicas y estéticas entre las láminas termoformadas de las marcas Essix, Bio-Art y Track disponibles en el mercado peruano, evaluadas en Arequipa – 2025?

INTERROGANTES ESPECÍFICAS:

- ¿Cuál es la resistencia a la flexión de las láminas Essix, Bio-Art y Track, determinada mediante la prueba de flexión de tres puntos según la norma ASTM D790?
- ¿Cuál es la dureza superficial de las láminas Essix, Bio-Art y Track, determinada mediante cinco mediciones en zonas adyacentes?
- ¿Cuál es la transparencia en las láminas Essix, Bio-Art y Track, medido con Luxómetro en condiciones estandarizadas?

1.3.4 TAXONOMÍA DE LA INVESTIGACIÓN:

ABORDAJE	TIPO DE ESTUDIO					DISEÑO	NIVEL
	Técnica de recolección	Tipo de dato que planifica recoger	Número de mediciones de las variables	Número de muestras o poblaciones	Ámbito de recolección		
Cuantitativo	Observacional	Prospectivo	Transversal	Comparativo	Laboratorial	No experimental	Comparativo

1.4 JUSTIFICACIÓN:

1.4.1 NOVEDAD U ORIGINALIDAD

En la actualidad, los estudios comparativos sobre las propiedades físico-mecánicas y estéticas de las diferentes marcas de láminas para retenedores termoformados disponibles en el mercado peruano son escasos. Contar con datos de referencia permitirá orientar al ortodoncista en la elección del material más adecuado, contribuyendo a mejorar la calidad y durabilidad de los tratamientos de en fase retención ortodóntica.

1.4.2 RELEVANCIA CIENTÍFICA:

El conocimiento científico disponible respecto a la comparación entre láminas Essix, Bio-Art y Track es limitado, especialmente en relación a sus propiedades Flexión, dureza y transparencia. Este estudio permitirá aportar evidencia objetiva que respalde la selección de biomateriales en ortodoncia, proveyendo un acervo informativo susceptible de erigirse como sustento preliminar para ulteriores indagaciones científicas y estandarización de protocolos clínicos.

1.4.3 FACTIBILIDAD

El proyecto investigativo es factible, ya que los materiales (láminas termoformadas de las tres marcas) se hallan accesibles dentro del entramado comercial peruano y las pruebas de laboratorio (Flexión de tres puntos, dureza Shore y transparencia) pueden realizarse con equipos accesibles en centros de investigación odontológica y de materiales.

1.4.4 INTERÉS PERSONAL

Este tema reviste interés personal para el investigador dado su ejercicio clínico en ortodoncia, donde ha observado la necesidad de contar con materiales de retención más duraderos y estéticos, motivándolo a comparar científicamente las láminas disponibles en nuestro medio.

1.5 OBJETIVOS:

1.5.1 OBJETIVO GENERAL:

- Comparar las propiedades físico-mecánicas y estéticas de las láminas termoformadas Essix, Bio-Art y Track disponibles en el mercado peruano a través de ensayos de laboratorio.

1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Determinar la resistencia a la flexión de las láminas Essix, Bio-Art y Track mediante la prueba de flexión de tres puntos.
- Determinar la dureza superficial de las láminas Essix, Bio-Art y Track mediante cinco mediciones en zonas adyacentes.
- Evaluar la transparencia óptica de las láminas Essix, Bio-Art y Track mediante la medición del Índice de Transmitancia Relativa (ITR%) en condiciones estandarizadas.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 ORTODONCIA Y ESTABILIDAD POST-TRATAMIENTO

La ortodoncia constituye una subdisciplina de la odontología orientada al análisis del desenvolvimiento de la oclusión, así como a la corrección de maloclusiones dento-esqueléticas mediante la implementación de dispositivos mecánicos capaces de ejercer fuerzas controladas sobre las piezas dentarias y sus estructuras de soporte (11). La finalidad primordial de un tratamiento de ortodoncia es lograr una sonrisa estética y funcional, así como la perdurabilidad en el tiempo de la disposición dentaria y oclusal (12). Sin embargo, la estabilidad es uno de los mayores desafíos, ya que los dientes tienen una tendencia natural a regresar a su posición original. Por ello, la fase de retención es fundamental para consolidar los resultados obtenidos (13).

2.1.1 OBJETIVOS DE LA RETENCIÓN EN ORTODONCIA

La retención en ortodoncia tiene como propósito principal mantener los dientes en su posición corregida después de finalizar el movimiento dental, minimizando o previniendo la recidiva (14). Este intervalo reviste carácter crucial, en tanto los tejidos gingivales y periodontales que han sido objeto de alteración a consecuencia del desplazamiento ortodóncico requieren un lapso prudencial para su reconfiguración y remodelarse a la nueva posición dental. La retención busca garantizar la estabilidad del resultado, evitar la reaparición de las características oclusales iniciales y permitir los ajustes post-tratamiento (12).

2.1.2 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA RECIDIVA

La recidiva, definida como el retorno de los dientes a su disposición primigenia o cualquier cambio en la posición final tras la retirada de los aparatos, es un problema frecuente en ortodoncia, presentándose en el 70% de los casos. Es un fenómeno multifactorial e impredecible (14). Los factores que contribuyen a la recidiva incluyen:

- **Reorganización de los tejidos periodontales y gingivales:** Las fibras colágenas que sujetan el diente necesitan tiempo para reorganizarse. La reorganización del ligamento periodontal puede tardar de 3 a 4 meses, mientras que las fibras periodontales supracrestales pueden permanecer estiradas por más de 232 días, lo que sugiere un periodo de retención prolongado. La alteración del ligamento periodontal reduce o elimina la estabilización

activa, haciendo los dientes inestables inmediatamente después de retirar los aparatos (12).

- Fuerzas de los tejidos blandos orofaciales: La presión de la lengua, labios y mejillas puede desplazar los dientes si no hay un equilibrio muscular adecuado. Hábitos como la succión digital, respiración oral, o interposición lingual pueden exacerbar la recidiva (13).
- Crecimiento remanente post-tratamiento: El crecimiento facial continuo puede alterar los resultados ortodóncicos, particularmente cuando la disarmonía oclusal primigenia encontraba su etiología en un patrón de crecimiento esquelético subyacente. Las alteraciones de índole esquelética presentan una marcada propensión a la recidiva, manifestándose en los tres planos espaciales si el crecimiento persiste (12).
- Inestabilidad oclusal intrínseca: Si la oclusión no es estable con una buena intercuspidad y coincidencia entre la relación céntrica y la máxima intercuspidad, puede haber movimientos dentarios.
- Discrepancia en el tamaño dentario: Un desequilibrio en el tamaño de los dientes superiores e inferiores puede llevar a apiñamiento o espaciamientos.
- Memoria dental: Dientes corregidos de rotaciones severas tienen una tendencia a volver a su posición inicial debido a las fibras transeptales estiradas. La sobrecorrección o fibrotomía supracrestal circunferencial pueden reducir esta "memoria".
- Manejo de terceros molares: Aunque no hay evidencia contundente de que los terceros molares causen apiñamiento anteroinferior, su manejo debe ser considerado en la planificación del tratamiento.
- Factores relacionados con el tratamiento: Cierre incorrecto de espacios, corrección insuficiente de rotaciones, falta de paralelismo radicular, y una metodología de contención inadecuada pueden contribuir a la recidiva (14).

2.1.3 IMPORTANCIA DE LA FASE DE RETENCIÓN

La fase de retención es tan crítica como el tratamiento activo mismo. Permite que los tejidos duros y blandos alrededor de las piezas dentarias se remodelen y estabilicen. Sin una retención adecuada, los resultados del tratamiento, que suponen un considerable esfuerzo y costo para paciente y profesional, pueden revertirse. La decisión sobre el tipo de retenedor y su duración

debe basarse en una planificación adecuada, considerando la maloclusión inicial y las características funcionales del individuo (15).

2.2 RETENEDORES EN ORTODONCIA

2.2.1 CONCEPTO Y FINALIDAD DE LOS RETENEDORES

Los retenedores constituyen aditamentos empleados en los arcos maxilares superior e inferior durante la etapa de retención para mantener estable la dentición después de la remoción de la aparatología ortodóncica y evitar la recidiva. Su función es esencial para fijar la oclusión lograda y prevenir la reaparición de maloclusiones (16).

2.2.2 CLASIFICACIÓN DE RETENEDORES

Existen dos grandes grupos de retenedores (12).

2.2.2.1 FIJOS:

Son aparatos que se adhieren a los dientes y no pueden ser removidos por el paciente. Se utilizan en casos donde se prevé inestabilidad dental o se requiere una contención prolongada (17).

2.2.2.2 REMOVIBLES:

Son retenedores removibles, susceptibles de ser insertados y retirados por el propio paciente, ejerciendo una acción intermitente. Permiten una mayor higiene y limpieza alrededor de los dientes (14).

2.2.2.3 TERMOFORMADOS (ACETATOS):

Son un tipo de retenedor removible, estético y transparente, que se ajusta a medida del paciente mediante un sistema de vacío (11).

2.2.3 INDICACIONES CLÍNICAS DE CADA TIPO

2.2.3.1 RETENEDORES FIJOS:

- En casos de cambios significativos en la posición anteroposterior del sector anteroinferior.
- Después del cierre de espacios.
- Para la alineación de dientes excesivamente rotados.

- Después de un resalte aumentado.
- En pacientes que no quieren comprometer su estética.
- Para pacientes poco comprometidos con el uso de aparatos removibles, ya que no dependen de la cooperación del paciente.
- Mantenimiento de espacio para pónicos de puente.
- Condiciones periodontales comprometidas con potencial para migración dentaria postortodónica.
- Prevención de recidiva después de la corrección de caninos erupcionados palatinamente, especialmente si no se ha logrado una sobremordida vertical apropiada.
- Para mantener el cierre de diastemas, como en los incisivos centrales superiores (13).

2.2.3.2 RETENEDORES REMOVIBLES (EN GENERAL):

- El Hawley es fundamentalmente indicado para la arcada superior ante compromiso transversal, en casos donde se ha realizado expansión de la arcada.
- Pueden usarse aparatos funcionales o extraorales (mentonera, anclaje extraoral) como medio de retención en pacientes con crecimiento remanente post-tratamiento o entre fases de tratamientos ortodóncicos.
- El Essix puede utilizarse para alinear incisivos irregulares si ha habido un ligero apiñamiento después del tratamiento, a menudo con stripping interproximal previo y set-up de laboratorio. No son los más indicados en casos de sobremordida comprometida (4).

2.2.3.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS

RETENEDORES FIJOS:

Ventajas: Estética (son invisibles), no se supeditan a la adhesión conductual del paciente, confieren una estabilidad de carácter sostenido en el tiempo y no generan alteraciones fonatorias ni irritación de tejidos blandos. Reducen las visitas de control y son mejor tolerados por el paciente (6).

Desventajas: Dificultan la higiene bucal, lo que puede llevar a acumulación de placa, caries, recesiones gingivales y pérdida de inserción. Son más incómodos de insertar, aumentan el tiempo de sesión y son más costosos. Tienen mayor susceptibilidad a fracturas en contraste con los dispositivos removibles (18).

RETENEDORES TERMOFORMADOS (ESSIX):

Ventajas: Muy estéticos, fáciles de fabricar y supervisar, cómodos para el paciente, económicos, fáciles de limpiar, protegen contra el bruxismo y permiten la colocación de aditamentos para movimientos dentales leves (19).

Desventajas: Exhiben una longevidad funcional menguada y una marcada proclividad a la fractura; asimismo, al recubrir las superficies oclusales, restringen la posibilidad de microajustes verticales en la disposición dentaria, lo que limita la optimización de los contactos oclusales una vez concluido el tratamiento. Pueden producir extrusión de dientes posteriores o profundización de mordida anterior (20).

2.3 RETENEDORES TERMOFORMADOS (ACETATOS)

2.3.1 DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS

Los retenedores termoformados, también conocidos como Essix retainers o Vacuum-Formed Retainers (VFRs), son una alternativa a los retenedores removibles tradicionales. Se caracterizan por ser transparentes, estéticos, confortables y de bajo costo. Están hechos a medida del paciente a partir de una lámina termoplástica, encapsulando la dentición y la parte superior del alvéolo (18).

2.3.2 MATERIALES EMPLEADOS (TIPOS DE ACETATOS: PETG, ESSIX, ZENDURA, DURAN, ETC.)

Poliuretano Termoplástico (TPU):

- Zendura A®: Es un material de poliuretano monocapa. Se describe como más duro que los materiales PETG y el fabricante lo elogia por su "durabilidad excepcional y resistencia a las grietas para el uso de retenedores a largo plazo"(5).
- Viverra®: Es un material de poliuretano (21).

Poliéster Glicol (PETG - Polyethylene terephthalate glycol):

- Essix ACE®: Es un material PETG (22).
- Track, Forestadent.
- Bioart.
- Taglus®: Es un material PETG (22).

- Duran®+: Es un material PETG (23).
- Tru-Tain: Es un material de copolímero de polietileno (10).
- Clear Advantage Series I: Es un material de copolímero de poliéster (CP) (10).

Polipropileno (PP):

- Essix C+®: Es un polímero de polipropileno (10).

2.3.3 GROSOR RECOMENDADO SEGÚN LITERATURA (0.75 MM, 1 MM, 1.5 MM)

El grosor preferido para los retenedores termoformados varía, pero las "medidas de grosor" descritas van desde 0.63 hasta 2.0 mm (24). En un estudio, el 70.1% de los profesionales prefirió un grosor de 1 mm para los retenedores termoformados (7).

2.3.4 DURACIÓN CLÍNICA Y RESISTENCIA AL DESGASTE

Los retenedores termoformados tienen una vida útil disminuida y son más susceptibles a la fractura. Sin embargo, la lámina Essix tipo C+ se erige como la alternativa de predilección para retención debido a su alta resistencia y durabilidad de hasta dos años de uso. Los materiales de alineadores se degradan con el tiempo, sus propiedades ópticas se reducen y absorben agua en el ambiente oral. El desgaste oclusal es una desventaja reportada. La duración clínica de los retenedores termoformados varía, con la mayoría de los encuestados indicando que tienen una vida útil típica de 1 a 3 años (3). En cuanto a la resistencia al desgaste, Zendura A se mostró como el material más resistente de los probados bajo simulación de bruxismo moderado nocturno, con una profundidad de desgaste significativamente menor que Essix ACE y Taglus (5).

2.3.5 ESTUDIOS SOBRE DEFORMACIÓN Y FRACTURA

Estudios han investigado el efecto de los agentes de limpieza oral en el trabajo esencial de fractura (EWF) y el trabajo plástico de fractura (PWF) de materiales de retenedores termoplásticos como PETG y PP-EPR blend. Estos materiales fueron sometidos a soluciones como Listerine, Crest ProHealth, peróxido de hidrógeno y Polident. La deformación del alambre del retenedor puede ocurrir durante el cementado, la masticación, o por un traumatismo. La fractura del alambre suele obedecer a la fatiga metálica derivada del uso prolongado, así como a deficiencias en la preparación de la superficie dentaria o a impericias

durante su colocación. Bajo los parámetros de una prueba de resistencia a la fatiga que simulaba un año de quitarse y volverse a poner un retenedor cinco veces al día, no se produjeron fracturas en ninguno de los materiales probados: Zendura A, Essix ACE y Taglus (5). La aplicación de peróxido de carbamida en los VFRs puede comprometer sus propiedades mecánicas, incluyendo una disminución de la resistencia a la tracción y un aumento de la dureza y rugosidad interna (25).

2.3.6 EFICACIA EN LA RETENCIÓN POST-ORTODONCIA

La placa Essix ha evidenciado una superior eficacia en la preservación de la alineación de los incisivos inferiores durante la fase de retención, en contraste con la placa de Hawley. Los VFRs fueron más efectivos que los Hawley en el mantenimiento de la corrección del segmento labial maxilar y mandibular. Algunos estudios concluyen que el retenedor Essix proporciona una estabilidad adecuada usándolo en la noche por un periodo de seis meses post-ortodoncia. No obstante, el índice de irregularidad tiende a restituirse a sus valores basales hacia los dos años posteriores a la retención; si bien se constató un incremento de los contactos posteriores tras la remoción de la placa Essix, la consecución de contactos oclusales ideales resultó inferior con dicho dispositivo. Los retenedores termoformados (VFRs) han demostrado ser eficaces en la retención ortodóntica (2). Tanto los VFR como los retenedores fijos (CTC) tienen la misma capacidad de retención en la mandíbula después de 6 y 18 meses. El retratamiento de los incisivos inferiores rotados antes de la descementación no mejora significativamente la estabilidad de la alineación (26).

2.4 RETENEDORES FIJOS (ALAMBRE ADHERIDO)

2.4.1 DEFINICIÓN Y TIPOS DE ALAMBRES UTILIZADOS

Los retenedores fijos son dispositivos metálicos que se fijan a la superficie lingual o palatina de las piezas dentarias con el propósito de preservar la posición previamente corregida. Han evolucionado en diseño y materiales desde su introducción en 1977. Los retenedores fijos, a menudo conocidos como retenedores linguales adheridos, se cementan directamente a las superficies linguales de los dientes, lo que los hace independientes de la cooperación del paciente (22). Los tipos de alambres utilizados incluyen:

- Blue-elgiloy, acero inoxidable, oro.

- Alambre multifilar o trenzado, constituido por múltiples hebras metálicas, que evidencia una menor tasa de fallo adhesivo en comparación con el retenedor reforzado con fibra. Permite usar grosores más pequeños, aumentando la flexibilidad y permitiendo pequeños movimientos fisiológicos. No obstante, su morfología superficial irregular favorece una mayor retención micromecánica del composite; asimismo, son los que permiten en mayor medida desplazamientos verticales posteriores, propiciando un incremento de los contactos oclusales.
- Alambre de níquel-titanio (NiTi). Un estudio comparó NiTi CAD/CAM con acero inoxidable trenzado, titanio sin níquel de una sola hebra, y placas Essix, concluyéndose que no se evidencian divergencias estadísticamente significativas en términos de estabilidad; no obstante, los retenedores de NiTi presentaron una superior adaptación a la morfología de la superficie dentaria.
- Composite reforzado con fibra de vidrio. Son una alternativa, pero pueden ser demasiado rígidos, no permiten movimientos fisiológicos y tienen una alta tasa de descementados y fracasos, además de posible empeoramiento periodontal.

Existen dos tipos básicos de cementado: solo a caninos o a cada uno de los dientes del segmento anterior. El alambre debe tener un grosor específico según el cementado; 0.032 pulgadas para cementado solo en caninos (más rígido), y 0.0175 o 0.0215 pulgadas para cementado en todos los dientes anteriores (mayor flexibilidad).

2.4.2 INDICACIONES CLÍNICAS

Las indicaciones clínicas son las mismas mencionadas, priorizando los casos de inestabilidad prevista y necesidad de contención prolongada, como después del cierre de espacios, cambios significativos en la posición anteroposterior del sector anteroinferior, alineación de dientes rotados excesivamente, y pacientes con poca colaboración. Los retenedores fijos se usan con mayor frecuencia en el arco mandibular 42% (3). Son preferidos para la corrección de diastemas (80.7%) y rotaciones severas de los dientes anteriores (76.2%) (7).

2.4.3 EFICACIA EN LA ESTABILIDAD DENTARIA

Los retenedores fijos se erigen como una alternativa idónea para la conservación de la alineación del sector anterior mandibular, mostrando una mayor idoneidad que los dispositivos removibles en la preservación de los resultados oclusales alcanzados; en términos comparativos, mantienen con mayor eficacia la alineación anteroinferior, evidenciando una

reducción aproximada de 1.6 mm en el índice de irregularidad frente a las placas Essix. Un estudio observó que los retenedores fijos mostraron mayor tiempo de supervivencia que las placas Hawley. Los retenedores fijos son más efectivos para mantener la alineación del segmento labial mandibular en comparación con los retenedores termoformados (22). En el arco mandibular, la alineación anterior fue más estable con un retenedor CTC adherido en comparación con un VFR removible después de 5 años de retención (26).

2.4.4 COMPLICACIONES FRECUENTES (DESCEMENTADO, ACUMULACIÓN DE PLACA, CARIES)

Las complicaciones más comunes asociadas a los retenedores fijos incluyen:

- Descementado: Es el tipo de falla más común, especialmente la separación entre la interfaz diente-adhesivo, a menudo asociada con fuerzas extremas de mordida.
- Acumulación de placa y cálculo: Los retenedores fijos dificultan la higiene bucal, haciendo la superficie lingual más susceptible a la formación de cálculos y acumulación de placa bacteriana. Un estudio encontró un índice de cálculo más alto en pacientes con retenedores fijos.
- Caries: La mala higiene puede conducir a caries.
- Problemas periodontales: Pueden producir recesiones gingivales, pérdida de inserción, gingivitis y destrucción periodontal. Un estudio determinó que los retenedores compuestos reforzados con fibra de vidrio exhiben un mayor potencial lesivo sobre el periodonto en comparación con los confeccionados en alambre de acero inoxidable.
- Movimientos dentarios indeseables: Aunque los retenedores fijos buscan estabilidad, pueden provocar movimientos dentarios indeseables e iatrogénicos si el alambre no es pasivo o se deforma. Esto no es una recidiva, sino una nueva maloclusión causada por el retenedor activo. Los tipos de movimientos incluyen diferencia de torque entre incisivos (X effect) o caninos (twist effect), rotaciones, expansiones y diastemas. Las causas se asocian a deformación del alambre durante el cementado o masticación, disfunción, parafunción o hábitos como la onicofagia (18).

2.5 COMPARACIÓN ENTRE RETENEDORES TERMOFORMADOS Y FIJOS

La elección del tipo de retenedor es un factor de importancia radical, pero a menudo se basa en preferencias clínicas. No existe un consenso global sobre el protocolo ideal de retención.

2.5.1 ESTABILIDAD DENTARIA A CORTO Y LARGO PLAZO

Un estudio no encontró diferencias significativas en la estabilidad dental entre los retenedores Essix y Hawley en una evaluación de seis meses. Sin embargo, los VFRs fueron más efectivos que los Hawley en el mantenimiento de la corrección del segmento labial maxilar y mandibular.

- En el arco inferior, las placas Essix fueron más eficientes que las Hawley en la retención de los dientes anteroinferiores.
- Los retenedores fijos se perfilan como una opción más idónea que los removibles para la conservación de los resultados oclusales alcanzados; en términos comparativos, aseguran una mejor preservación de la alineación del segmento anteroinferior, evidenciando cerca de 1.6 mm menos de irregularidad respecto a las placas Essix.
- Los retenedores fijos son los que permiten en mayor medida desplazamientos verticales posteriores, favoreciendo un incremento en los contactos oclusales; les siguen, en orden decreciente, los dispositivos tipo Hawley y, en última instancia, los retenedores termoplásticos.
- Un estudio de 4 años comparó retenedores fijos vs Essix, concluyendo que los fijos preservan mejor la alineación anteroinferior. Otro estudio de 12 meses no encontró diferencias significativas entre retenedores fijos y placas Essix en la arcada inferior.
- En resumen, la evidencia sobre qué tipo de retenedor es superior en términos de estabilidad a largo plazo es variada y a veces inconsistente (22).

2.5.2 COMODIDAD PERCIBIDA POR EL PACIENTE

Los retenedores termoformados (Essix) son generalmente considerados cómodos para el paciente.

Los pacientes portadores de retenedores fijos reportaron una menor incidencia de molestias y una reducida afectación en la articulación del habla en comparación con las placas Essix. Un estudio encontró una satisfacción significativamente alta con los retenedores fijos linguales fabricados con CAD/CAM y trenzados de acero inoxidable, sin diferencias en molestias en la lengua.

Los retenedores removibles, como el Hawley, pueden causar dificultades para hablar y salivación extra, lo que puede afectar el cumplimiento del paciente (27).

2.5.3 HIGIENE Y SALUD PERIODONTAL

Los retenedores fijos pueden dificultar la higiene bucal, llevando a acumulación de placa y cálculo. Algunos ortodoncistas contraindican los retenedores fijos en pacientes con mala higiene oral o caries.

Un estudio observó un índice de cálculo más alto en pacientes con retenedores fijos en comparación con Essix. El uso de retenedores fijos frente a placas Essix no produjo problemas de salud periodontal adversos clínicamente significativos en un estudio.

Los retenedores removibles permiten una mayor higiene con cepillo e hilo dental. La retención con alambre de retenedor fijo adherido en la región anterior mandibular resulta en un minúsculo aumento de los índices gingival y de cálculo, lo que indica un potencial mejorado para la agregación de restos y el desarrollo de inflamación gingival y formación de cálculo, en comparación con el retenedor termoformado removible [Ghaffar et al.]. Los retenedores termoformados (VFRs) resultaron en una ligera pérdida de unión periodontal que parecía clínicamente insignificante, sin inflamación gingival o recesión (2).

2.5.4 COSTO-BENEFICIO

- Las férulas termoplásticas (Essix) son más económicas que las placas de Hawley y son igual de eficaces.
- Los retenedores termoformados son de bajo costo y de fabricación simple.
- Los retenedores fijos son generalmente más costosos que los removibles.

Los estudios incorporados en la revisión sistemática no abordaron el análisis de la relación costo-beneficio de las placas Essix. Un análisis de minimización de costos (CMA) mostró que, para un resultado clínicamente similar, había diferencias en los costos sociales, siendo el retenedor de cúspide el aparato de retención menos rentable después de 2 años de retención en pacientes cumplidores (28). Otro estudio no encontró diferencias estadísticamente significativas en los costos entre los retenedores fijos maxilares y los VFRs, aunque los costos de material y de emergencia fueron significativamente mayores para los VFR en comparación con los retenedores adheridos (29).

2.5.5 CUMPLIMIENTO DEL PACIENTE

Los retenedores fijos tienen la ventaja de no depender de la cooperación del paciente. Los retenedores removibles requieren la colaboración del paciente. La falta de cumplimiento puede predisponer a cambios y afectar la eficacia del tratamiento. Se observó que los pacientes del grupo Essix fueron más cooperativos que los del grupo Hawley. Los estudios han demostrado que los pacientes exhiben un mejor cumplimiento con los VFRs en comparación con los retenedores Hawley (19). La mayoría de los ortodoncistas encuestados (53%) creían que sus pacientes eran más cumplidores con los retenedores termoformados que con los Hawley (3).

2.6 FACTORES QUE AFECTAN LA EFICACIA DE LOS RETENEDORES

2.6.1 GROSOR Y CALIDAD DEL MATERIAL (EN TERMOFORMADOS)

El grosor del material de los retenedores termoformados puede variar, y la elección del material (ej., PETG, PP-EPR blend) influye en propiedades como estética, durabilidad y flexibilidad.

Las propiedades del material, biocompatibilidad y los sistemas de fuerza entregados por los alineadores impresos directamente necesitan ser examinados antes de recomendaciones clínicas. Los materiales se degradan con el tiempo y absorben agua. La cantidad de deformación, más que el tipo, puede tener un impacto. La calidad de los materiales, incluido el grosor, es un factor que influye en la resistencia al desgaste de los retenedores termoformados. En un estudio de laboratorio, tres materiales de copolímero de polietileno (Essix ACE, Duran y Tru-Tain) exhibieron significativamente menos desgaste que el material de polipropileno (22).

2.6.2 TIEMPO DE USO DIARIO (HORAS RECOMENDADAS)

El tiempo de uso de los retenedores removibles es un factor crucial. Un protocolo generalizado para retenedores tipo Hawley es uso a tiempo completo durante 3 a 6 meses, seguido de uso a tiempo parcial (solo durante las noches) por un año o año y medio. Luego se recomienda un uso ocasional.

Para los retenedores termoformados (Essix), un protocolo sugerido es uso a tiempo completo por una semana y luego uso nocturno (mínimo 8 horas diarias) por un año. Estudios han concluido que el uso nocturno es aceptable.

Para los retenedores fijos, la opinión sobre la duración varía desde unos pocos años hasta uso indefinido o de por vida. La mayoría de los ortodoncistas encuestados en los Países Bajos y Suiza recomiendan la retención permanente. La mayoría de los ortodoncistas en Malasia prefieren el uso nocturno para 6 a 12 meses (87.2%) y para 12 a 24 meses (66.7%) post-tratamiento (30).

2.6.3 HÁBITOS DEL PACIENTE

- Los hábitos orales y parafunciones pueden tener una influencia significativa en la recidiva y en la deformación de los retenedores.
- La interposición lingual, respiración bucal y succión del pulgar son hábitos que pueden exacerbar la recidiva, especialmente en patrones esqueléticos verticales.
- Hábitos como la onicofagia (morderse las uñas) pueden deformar el alambre de los retenedores fijos y provocar movimientos radiculares, necrosis dental y recesiones gingivales severas.
- La deglución atípica (interposición de la lengua entre las arcadas) puede deformar gradualmente el retenedor fijo y causar movimientos de torque en los dientes.
- La presencia de hábitos orales persistentes después de terminar el tratamiento ortodóncico es un criterio de exclusión en algunos estudios debido a su impacto en la estabilidad.
- La falta de cumplimiento del paciente es una desventaja de los retenedores removibles y es difícil de predecir (31). La actitud del paciente (92.4%) y un retenedor roto o perdido (79.7%) fueron los factores más frecuentemente citados que atribuyen a la recurrencia del tratamiento (30).

2.6.4 CONTROL Y SEGUIMIENTO CLÍNICO

Se torna imperativa la supervisión periódica de los retenedores durante la fase de retención, a fin de mitigar fallos estructurales, bioacumulación de placa, procesos cariosos o desplazamientos indeseados; en tal sentido, se sugiere programar la primera evaluación a los tres meses de instalada la contención y prever entre dos y cuatro controles anuales subsiguientes.

La frecuencia de las citas de control puede variar según el odontólogo y depende de los años de práctica, el volumen de pacientes y el tipo de retenedor indicado. Las fallas de los

retenedores fijos se observan con mayor frecuencia en los primeros meses después de su adhesión.

La importancia de una correcta recolección de datos del paciente, incluyendo hábitos y disfunciones, es crucial para una adecuada planificación de la fase de retención y para asegurar la estabilidad a largo plazo del tratamiento ortodóncico. Las visitas de revisión ayudaron a minimizar la progresión de la patología hasta cierto punto, por lo que los clínicos deben considerar una vigilancia cuidadosa de la salud bucal del paciente. El número de visitas de seguimiento durante la fase de retención se vio afectado por la experiencia del profesional y si se utilizaban VFRs (32).

2.7 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS:

2.7.1 ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Alkawari et al. Evaluaron en este un estudio in vitro que buscó analizar el efecto de un ambiente ácido (pH 4 y 1.2, simulando ácido gástrico) sobre la microdureza superficial, la resistencia a la flexión y el cambio de color de tres tipos de materiales para retenedores termoformados: copolímeros (CP), polipropileno (PP) y PET-G. Se encontró que la resistencia a la flexión se redujo significativamente después de la inmersión en soluciones ácidas, siendo el PET-G el que mostró mayor cambio, seguido del CP y el PP. En cuanto al cambio de color, se observó una diferencia notable en los tres materiales después de la inmersión en pH 1.2 y pH 4, siendo el CP el más afectado (aclarándose) y el PET-G el menos afectado, manteniendo sus propiedades ópticas. El PP, debido a su estructura cristalina, absorbió menos agua. Los hallazgos sugieren que las propiedades de estos materiales se ven afectadas por condiciones ácidas, y las diferencias se atribuyen a sus estructuras químicas y características superficiales (10).

Aldweesh et al. estudio el módulo de flexión, la dureza superficial y la estabilidad del color de tres materiales diferentes para retenedores termoformados: Zendura (poliuretano, PU), Duran (polietileno tereftalato glicol, PETG) y Keystone. Se encontró que Zendura mostró el módulo de flexión más alto y la mayor dureza, seguido por Duran y Keystone. En cuanto a la estabilidad del color, Zendura mostró el mayor cambio de color, especialmente en soluciones de café y vino, lo que se atribuyó a su composición de PU, que es más susceptible a la absorción de pigmentos que los materiales basados en PETG. Este estudio es directamente relevante para las propiedades físico-mecánicas y estéticas de los materiales (33).

Tarman et al. Aunque este estudio se enfoca en la percepción del paciente, los retenedores termoformados (VFR) son conocidos por sus ventajas estéticas. La apariencia transparente es una de las principales razones de su popularidad. La alta aceptación y satisfacción del paciente con los VFRs, en parte debido a su naturaleza discreta y estética, influye directamente en la elección y el éxito del tratamiento, lo cual es un factor relevante al considerar las propiedades estéticas de los materiales (34).

Elshebiny et al. Este estudio investigó la precisión de los modelos dentales impresos en 3D y cómo las diferentes alturas de capa afectan la fabricación y el ajuste percibido de los retenedores termoformados (TFR) de material Zendura. Se encontró que la precisión del modelo dental impreso no se vio afectada por la altura de la capa, y que los ortodoncistas y pacientes no detectaron una diferencia estadísticamente significativa en el ajuste del retenedor. Esto es relevante ya que un buen ajuste es una propiedad funcional y estética crucial para los retenedores termoformados, asegurando la estabilidad y el confort del paciente (35).

Jin et al. Este estudio evaluó el efecto del peróxido de carbamida en las propiedades biomecánicas de los retenedores termoformados (VFRs), incluyendo la resistencia a la tracción y la dureza. Los resultados mostraron cambios significativos en el módulo elástico y la carga máxima (relacionada con la resistencia a la tracción) después de la exposición al agente blanqueador. Este estudio contribuye al entendimiento de cómo factores externos pueden influir en las propiedades físico-mecánicas y, por extensión, en la durabilidad y funcionalidad de los materiales de los retenedores (9).

2.7.2 ANTECEDENTES NACIONALES

Espinoza Llalla evaluó en un estudio observacional, analítico y transversal a 132 ortodoncistas peruanos para comparar los protocolos de retención en ortodoncia y la información brindada al paciente post tratamiento, considerando características como la institución de formación y los años de experiencia clínica. Se utilizaron cuestionarios validados que recogían datos sobre el tipo de retenedor, indicaciones, tiempo de uso y métodos de fabricación, así como la forma, momento y contenido de la información al paciente. Los resultados mostraron diferencias estadísticamente significativas en la elección de protocolos según el tipo de institución y la experiencia. Los retenedores más comunes fueron Essix y fijo, tanto en arcada superior como inferior, aunque los pacientes preferían retenedores fijos. La mayoría de ortodoncistas brindó información de forma verbal y escrita, incluyendo duración,

tipo, higiene y complicaciones. El estudio resalta la influencia de la formación y experiencia en la elección de protocolos, pero no encontró diferencias en la forma de informar al paciente según estas variables (36).

Cristobal Flores analizo en una revisión bibliográfica la eficacia de la combinación de contención removible superior tipo Hawley y contención fija inferior para mantener la estabilidad oclusal tras el tratamiento de ortodoncia. Se evidenció que ambas alternativas preservaban la estabilidad oclusal hasta una década posterior al tratamiento, destacándose la mayor comodidad asociada a la contención fija es valorada por los pacientes. Se describe que la recidiva puede deberse a factores periodontales, gingivales, oclusales y de presión de tejidos blandos, y que los retenedores fijos, generalmente de canino a canino, ofrecen mejores resultados estéticos y de estabilidad en el sector anterior, aunque requieren controles periódicos por posibles fallas y mayor acumulación de placa. Estudios citados reportan que la contención fija resulta eficaz en la preservación de la alineación de los incisivos mandibulares, mientras que en el arco maxilar superior su contribución no evidencia beneficios sostenidos en el largo plazo. La conclusión destaca que la combinación de retenedor removible superior y fijo inferior es eficaz para la estabilidad a largo plazo, siempre que se mantenga una buena higiene oral (37).

3 HIPÓTESIS

Dado que las láminas termoformadas (Essix, Bio-Art y Track) poseen propiedades físico-mecánicas y estéticas utilizadas en la práctica clínica, se busca determinar si existen diferencias significativas entre estas marcas en cuanto a resistencia, flexión y estética.

3.1 HIPÓTESIS ALTERNA

Existen diferencias significativas en las propiedades físico-mecánicas (Dureza, flexión) y estéticas (Transparencia) entre las láminas termoformadas Essix, Bio-Art y Track disponibles en el mercado peruano.

3.2 HIPÓTESIS NULA:

No existen diferencias significativas en las propiedades físico-mecánicas (Dureza, flexión) y estéticas (transparencia) entre las láminas termoformadas Essix, Bio-Art y Track disponibles en el mercado peruano.



CAPITULO II

PLANTEAMIENTO OPERACIONAL

1 TÉCNICAS, INSTRUMENTOS Y MATERIALES DE VERIFICACIÓN

1.1 TÉCNICA

1.1.1 ESPECIFICACIÓN DE LA TÉCNICA:

Se empleó la técnica observacional, descriptiva y comparativa in vitro, donde se analizaron las propiedades físico-mecánicas y estéticas de tres marcas de láminas termoformadas (Essix, Bio-Art y Track) en un único tiempo de evaluación posterior al proceso de termoformado.

1.1.2 ESQUEMATIZACIÓN:

VARIABLE	TECNICA	INSTRUMENTO
Marca de láminas termoformadas (Essix, Bio-Art y Track)	Evaluación comparativa en laboratorio de muestras termoformadas en un solo tiempo	• Máquina de ensayo universal • Durómetro • Luxómetro
Propiedades físico-mecánicas y estéticas de las láminas (resistencia, dureza, transparencia)	Medición cuantitativa y cualitativa de los parámetros en las muestras	• Ficha de observación de laboratorio • Registro fotográfico estandarizado • Software de análisis de imagen (opcional)

1.1.3 DESCRIPCIÓN DE LA TÉCNICA:

Este estudio tuvo como propósito establecer cuál de las láminas termoformadas empleadas en la confección de retenedores ortodónticos presenta un mejor desempeño en términos de resistencia a la flexión, dureza superficial y transparencia. Para ello se seleccionaron tres marcas comerciales ampliamente utilizadas en la práctica clínica: Essix ACE® (Dentsply Sirona), Bio-Art Crystal® y Track A® (Forestadent), todas en un espesor estandarizado de 1 mm, con el fin de mantener la homogeneidad entre los grupos experimentales.

En total se prepararon 36 láminas para las pruebas de flexión, 12 láminas para la prueba de dureza Shore D, y 36 muestras para el ensayo de transparencia, garantizando así un número adecuado de especímenes para el análisis estadístico y la comparación entre materiales. Todas las láminas fueron termoformadas siguiendo un protocolo uniforme y posteriormente conservadas en condiciones ambientales controladas (22 ± 2 °C y 50 % de humedad relativa)

hasta el momento de su evaluación, con el fin de evitar modificaciones dimensionales o alteraciones previas a los ensayos.

1.1.3.1 PREPARACIÓN DEL MODELO MAESTRO

Con el propósito de garantizar un termoformado reproducible y totalmente estandarizado, se elaboró un modelo maestro utilizando una platina de metal finamente pulida. La selección del metal se justificó por su elevada estabilidad dimensional, su baja deformabilidad térmica y su capacidad para conducir el calor de forma uniforme durante el proceso de termoformado. Esto reduce significativamente las irregularidades que se presentan cuando se utilizan modelos anatómicos de yeso, los cuales pueden incorporar porosidad, microtexturas y variaciones de relieve que afectan la adaptación del material termoplástico.

La platina metálica fue fabricada con dimensiones exactas de 18 mm de ancho, 1 mm de espesor y 87 mm de largo, especificaciones que permitieron obtener una superficie completamente plana y homogénea. Antes del termoformado, la platina fue sometida a un proceso de pulido fino, con el fin de eliminar microabrasiones o rugosidades que pudieran transferirse a las láminas termoformadas.

Durante el proceso experimental, la platina metálica fue posicionada centrada en la cámara de termoformado, asegurando un contacto estable con la lámina durante la fase de presión positiva.

1.1.3.2 TERMOFORMADO DE LAS LÁMINAS

El proceso de confección de los retenedores se realizó empleando láminas termoformables de 1 mm pertenecientes a las tres marcas estudiadas: Essix®, Track® y Bio-Art Crystal®, seleccionadas por su uso frecuente en ortodoncia y por presentar composiciones basadas en copoliéster PET-G, adecuadas para evaluaciones mecánicas y ópticas.

El termoformado se llevó a cabo en una máquina Bio-Art PlastPress®, la cual opera mediante presión positiva y permite un control uniforme de temperatura. Cada lámina fue sometida a un ciclo estandarizado de calentamiento a 220 °C, siguiendo las recomendaciones del fabricante para lograr la plastificación homogénea del material. Posteriormente, se aplicó presión positiva sobre la platina metálica en condiciones estandarizadas.

Finalizado el proceso, las láminas termoformadas fueron retiradas cuidadosamente y se dejaron reposar durante 20 minutos a temperatura ambiente, con el fin de permitir la estabilización dimensional del material y minimizar la aparición de tensiones residuales.

1.1.3.3 OBTENCIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DE PROBETAS

Luego del termoformado, las láminas fueron retiradas y se recortaron cuidadosamente para obtener probetas uniformes. Dimensiones finales usadas:

- Flexión: 15 mm × 85 mm
- Dureza Shore D: 15 mm × 15 mm
- Transparencia: 15 mm × 85 mm (obtenidas antes del ensayo de flexión)

El corte se realizó con tijeras de precisión, cortador rotatorio y regla metálica para obtener bordes rectos y perpendiculares.

Las probetas fueron almacenadas 24 horas en ambiente controlado: 22 ± 2 °C

1.1.3.4 TÉCNICA PARA LA EVALUACIÓN DE TRANSPARENCIA

La transparencia se evaluó mediante un ensayo artesanal de transmitancia lumínica, empleando un luxómetro digital Victor 1010D+.

Montaje del ensayo:

- Se construyó un túnel óptico pintado de negro internamente para evitar luz externa.
- Se colocó una lámpara LED blanca calibrada como fuente de luz.
- Se midió L_0 (lux sin probeta).
- Luego se colocó la probeta y se midió L_1 en tres puntos: centro, inferior y superior.

Cálculo del Índice de Transmitancia Relativa (ITR%):

$$ITR(\%) = \left(\frac{L_m}{L_0} \right) \times 100$$

Donde:

- **ITR (%)** = Índice de Transmitancia Relativa
- **Lm** = Intensidad luminosa medida a través de la lámina termoformada (lux)
- **L0** = Intensidad luminosa inicial sin muestra (lux)
- **100** = Factor de conversión a porcentaje

Las probetas usadas en transparencia fueron exactamente las mismas que serían sometidas a flexión, garantizando equivalencia dimensional.

1.1.3.5 TÉCNICA PARA EL ENSAYO DE FLEXIÓN

La resistencia a la flexión se determinó siguiendo el procedimiento de flexión en tres puntos basado en ASTM D790.

Procedimiento:

Las probetas de 15 mm × 85 mm se colocaron en la máquina universal de ensayos, los apoyos se ajustaron para garantizar un soporte estable y simétrico, se aplicó la carga con un cabezal central a 2 mm/min, registrada en los informes del laboratorio.

Se registraron:

- Esfuerzo máximo (MPa)
- Desplazamiento (mm)
- Curva esfuerzo–desplazamiento

El uso de probetas largas permitió una flexión controlada sin interferencia de bordes ni deformación temprana.

1.1.3.6 TÉCNICA PARA LA EVALUACIÓN DE DUREZA SHORE D

La dureza superficial fue evaluada bajo los lineamientos de la norma ASTM D2240, utilizando un durómetro Shore D, adecuado para materiales poliméricos semirrígidos y termoplásticos.

Se elaboraron un total de 12 probetas de 15 × 15 mm (4 por cada marca evaluada).

Para reducir posibles sesgos por deformación local o influencia del espesor:

- Las probetas fueron colocadas sobre una superficie rígida, plana y uniforme durante la medición.
- Se evitó la presencia de curvaturas o irregularidades derivadas del termoformado.
- Cada probeta fue medida en cinco puntos distintos:
- Un punto central
- Cuatro puntos periféricos equidistantes
- El indentador del durómetro fue aplicado perpendicularmente a la superficie hasta la estabilización del indicador.
- El valor final de dureza correspondió al promedio de las cinco lecturas.

Aunque ASTM D2240 recomienda espesores suficientes para evitar interferencia del soporte, estudios en polímeros termoformados permiten el uso de Shore D en materiales delgados siempre que las muestras se estabilicen sobre base rígida y se mantengan condiciones uniformes de ensayo.

1.2 INSTRUMENTOS:

1.2.1 INSTRUMENTO DOCUMENTAL

1.2.1.1 PRECISIÓN DEL INSTRUMENTO:

El instrumento documental comprende todas las fichas técnicas, manuales, normas técnicas internacionales (ASTM e ISO) y guías del fabricante consultadas para determinar los parámetros de operación, precisión y límites de cada instrumento empleado en las pruebas de laboratorio.

Incluye documentos proporcionados por:

- Bio-Art (PlastPress®)
- Forestadent (Track A®)
- Dentsply Sirona (Essix ACE®)
- Normas ASTM D790, ASTM D2240
- Manual del luxómetro Victor 1010D+

1.2.1.2 ESTRUCTURA:

VARIABLES INVESTIGATIVAS	INDICADORES
Resistencia a la flexión	Esfuerzo máximo (MPa) obtenido mediante ensayo de flexión en tres puntos con máquina de ensayo universal.
Dureza superficial	Valores de dureza Shore D obtenidos mediante durómetro digital, promediados a partir de cinco mediciones por probeta.
Transparencia y aspecto estético	Índice de transmitancia relativa (ITR %) registrando valores con luxómetro Victor 1010D+. Medición en tres puntos por probeta (centro, inferior y superior).

1.2.1.3 MODELO DEL INSTRUMENTO:

Véase Anexos

1.2.2 INSTRUMENTOS MECANICOS

Se utilizaron los siguientes instrumentos mecánicos y equipos:

- **Máquina universal de ensayos Instron®**

Para el ensayo de flexión, con accesorios de tres puntos.

- **Durómetro Shore D**

Para evaluar la dureza superficial mediante indentación controlada.

- **Bio-Art PlastPress®**

Para el termoformado de las láminas de 1 mm bajo presión positiva.

- **Cortador rotatorio y tijeras de precisión**

Para obtener probetas con dimensiones exactas y bordes limpios.

- **Regla milimétrica digital calibrada**

Para la verificación de las dimensiones de las probetas.

1.2.3 MATERIALES DE VERIFICACION

- Fichas de registro de dureza
- Fichas de registro de flexión
- Fichas de transparencia
- Fotografías del montaje experimental
- Copias de manuales técnicos
- Certificados de calibración de equipos utilizados

2 CAMPO DE VERIFICACIÓN

2.1 UBICACIÓN ESPACIAL

A. ÁMBITO GENERAL:

Arequipa, Peru

B. ÁMBITO ESPECÍFICO

Laboratorio de investigación en de Ingeniería de Materiales de la Universidad Nacional de San Agustín.

2.2 UBICACIÓN TEMPORAL

La investigación se desarrollaro entre setiembre y noviembre del 2025.

2.3 UNIDADES DE ESTUDIO

Muestras de tres marcas comerciales de láminas termoformadas para retenedores: Essix, Bio-Art y Track, disponibles en el mercado peruano.

CRITERIOS DE INCLUSIÓN

- Láminas termoformadas originales de cada marca.
- Presentación transparente, destinadas para uso en retenedores ortodónticos.
- Espesor estándar de 1 mm..

A. CRITERIOS DE EXCLUSIÓN

- Láminas que presenten fisuras, defectos de fábrica o irregularidades visibles.
- Láminas de otras marcas no contempladas en el estudio.
- Láminas con variaciones de espesor distintas al estándar.

B. TAMAÑO DE LOS GRUPOS:

Se utilizaron 12 probetas de cada marca comercial (Essix, Bio-Art y Track), haciendo un total de 36 muestras para las pruebas de flexión. Estas mismas fueron evaluadas previamente para la prueba de transparencia óptica. Adicionalmente, se emplearon 4 probetas más de cada material comercial haciendo un total del 12 muestras exclusivamente para la medición de dureza superficial, sumando así 48 muestras en total.

Fuente: Distribuidores autorizados y casas dentales en Perú

3 ESTRATEGIA DE RECOLECCIÓN DE DATOS:

3.1 ORGANIZACIÓN

- Autorización de la Universidad Nacional de San Agustín para el uso de laboratorio.
- Adquisición de láminas termoformadas Essix, Bio-Art y Track.
- Preparación de las muestras bajo condiciones estandarizadas (cortes uniformes de 15 × 85 mm).

3.2 RECURSOS

RECURSOS HUMANOS

- Investigador: C.D. Luis Hernan Calderon Vilca
- Asesor: Dr. Pedro Paul Bernal Riquelme
- Personal de apoyo técnico de laboratorio (opcional)

RECURSOS VIRTUALES

- Software estadístico SPSS v.23 estudiantil
- Software Excel para organización inicial de datos

RECURSOS ECONÓMICOS

- Láminas termoformadas de cada marca (Essix, Bio-Art y Track):
 - 12 por marca (36 en total), utilizadas tanto para pruebas de flexión como de transparencia
 - adicionales por marca (12 en total), utilizadas exclusivamente para pruebas de dureza Shore D
 - Máquina termoformadora (PlastPress®), micrómetro digital y calibrador digital Vernier (precisión: 0,01 mm)
- El proyecto será autofinanciado por el investigador.

3.3 VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO

La validación de los instrumentos utilizados en esta investigación fue realizada por el Ing. Elmer Mamani Calcina, profesional responsable del Laboratorio de Ensayo de Materiales, entidad especializada en pruebas mecánicas y de caracterización de materiales poliméricos y metálicos. El ingeniero verificó que los equipos empleados cumplieran con los estándares técnicos establecidos en las normas internacionales correspondientes, garantizando así la confiabilidad de los datos obtenidos.

3.3.1 VERIFICACIÓN DE CALIBRACIÓN

- Confirmación de la calibración vigente de la máquina universal de ensayos (Instron®), con revisión del certificado correspondiente.
- Comprobación del correcto funcionamiento del durómetro Shore D, comparando sus lecturas contra bloques patrón certificados.
- Validación del rango operativo y resolución del luxómetro Victor 1010D+, midiendo en vacío y contrastando con valores de referencia.

3.3.2 VERIFICACIÓN DE CONFORMIDAD NORMATIVA

El Ing. Mamani verificó la conformidad de los procedimientos con las siguientes normas:

- ASTM D790 para el ensayo de flexión en tres puntos.
- ASTM D2240 para la medición de dureza Shore D.
- Lineamientos de medición de iluminancia (lux) según parámetros del fabricante y recomendaciones fotométricas.

3.3.3 ENSAYO PRELIMINAR DE CONTROL

Se realizaron pruebas previas de control con muestras piloto para evaluar:

- Estabilidad de carga en la máquina universal,
- Repetibilidad y dispersión de valores en dureza,
- Consistencia del luxómetro bajo condiciones controladas de iluminación.

Los resultados mostraron variación mínima entre mediciones repetidas, cumpliendo así con los criterios de precisión requeridos para estudios de caracterización de materiales poliméricos.

3.3.4 CERTIFICACIÓN INTERNA DE APTITUD PARA USO

Tras la verificación documental, metrológica y experimental, se extendió la conformidad técnica, garantizando que los instrumentos presentan:

- Confiabilidad,
- Validez interna,
- Aplicabilidad para materiales termoformados,

3.3.5 RESPALDO INSTITUCIONAL

El Laboratorio de Ensayo de Materiales cuenta con equipamiento certificado y es un referente institucional para la ejecución de ensayos mecánicos en polímeros, lo que otorga un respaldo adicional a la calidad metodológica de la presente investigación.

4 ESTRATEGIA PARA MANEJAR RESULTADOS:

4.1 PLAN DE PROCESAMIENTO DE DATOS

4.1.1 TIPO DE PROCESAMIENTO:

Los datos obtenidos de los ensayos de resistencia a la flexión, dureza superficial (Shore D) y transmitancia de luz fueron procesados de forma computarizada mediante el software IBM SPSS Statistics versión 23 y Microsoft Excel, con la finalidad de organizar, depurar y analizar la información de manera sistemática.

4.2 PLAN DE OPERACIONES:

4.2.1 CLASIFICACIÓN:

Cada probeta fue identificada mediante un sistema de codificación alfanumérica estructurada, diseñado para garantizar la trazabilidad de las muestras durante todas las etapas del estudio y permitir su adecuada organización en el análisis estadístico.

- Essix
- Bio-Art
- Track

Asimismo, se clasificaron según la propiedad evaluada:

- Resistencia a la flexión (MPa)
- Dureza superficial (Shore D)
- Transparencia (Transmitancia relativa, %)

4.2.2 CODIFICACIÓN:

Cada probeta fue identificada mediante un sistema de codificación alfanumérica estructurada, diseñado para garantizar la trazabilidad de las muestras durante todas las etapas del estudio y permitir su adecuada organización en el análisis estadístico.

4.2.2.1 CODIFICACIÓN PARA ENSAYOS DE FLEXIÓN Y TRANSMITANCIA

Para los ensayos de resistencia a la flexión y transmitancia de luz, donde cada probeta genera un único valor, se utilizó el siguiente formato:

[Marca] – [Número de probeta] – [Tipo de ensayo]

Marca:

- E = Essix
- B = Bio-Art
- T = Track

Número correlativo (01–12):

- Identifica cada probeta dentro de su grupo.

Sufijo del ensayo:

- **F:** Resistencia a la flexión
- **T:** Transmitancia de luz

Ejemplos:

- **E-01-F:** Probeta 01 de Essix evaluada en flexión
- **B-05-F:** Probeta 05 de Bio-Art evaluada en flexión
- **T-03-T:** Probeta 03 de Track evaluada en transmitancia

4.2.2.2 CODIFICACIÓN PARA ENSAYOS DUREZA

Debido a que en la prueba de dureza se realizaron múltiples mediciones por cada probeta (cinco indentaciones), la codificación fue adaptada para reflejar esta estructura de medición repetida.

[Marca] – [Número de probeta] – [Tipo de ensayo]

Marca:

- E = Essix
- B = Bio-Art
- T = Track

Número correlativo (01–04):

- Identifica cada probeta dentro de cada grupo (4 probetas por marca).

Sufijo:

- S: Ensayo de dureza superficial

Ejemplo:

- **E-01-S:** Probeta 01 de Essix evaluada en dureza
- **B-03-S:** Probeta 03 de Bio-Art evaluada en dureza

4.2.3 CONTEO O PUNTUACIÓN

Para resistencia a la flexión y transmitancia, se consideró un valor por cada probeta.

Para dureza Shore D, se realizaron cinco indentaciones por probeta; a partir de estas mediciones se calculó el valor promedio por probeta, el cual fue utilizado como unidad de análisis estadístico.

4.2.4 PLAN DE TABULACIÓN

Se elaboraron tablas comparativas por marca y por variable, incluyendo:

- Media
- Mediana

- Desviación estándar

4.2.5 PLAN DE GRAFICACIÓN:

Los resultados fueron representados mediante:

- Diagramas de cajas y bigotes (boxplot) para visualizar la distribución y detectar valores atípicos
- Gráficos de barras para comparar las medias entre grupos.

4.2.6 PLAN DE ANÁLISIS DE DATOS

A. TIPO DE ANÁLISIS:

Se realizó un análisis descriptivo e inferencial de las variables evaluadas: resistencia a la flexión, dureza superficial y transparencia óptica.

Para el análisis descriptivo se calcularon:

- medidas de tendencia central (media y mediana)
- medidas de dispersión (desviación estándar, rango y rango intercuartílico)
- intervalos de confianza al 95% (IC95%)

La normalidad de los datos fue evaluada mediante la prueba de Shapiro-Wilk, debido a que el tamaño de muestra en cada grupo de estudio es reducido ($n \leq 50$). Esta prueba es recomendada para muestras pequeñas y moderadas, ya que presenta mayor potencia estadística en comparación con otras pruebas de normalidad, permitiendo detectar con mayor sensibilidad desviaciones respecto a una distribución normal.

B. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO:

Para comparar las propiedades entre las tres marcas evaluadas (Essix, Bio-Art y Track), se aplicó el siguiente procedimiento:

- Si los datos presentaron distribución normal y homogeneidad de varianzas:

- ANOVA de un factor.
- Si los datos no cumplieron supuestos de normalidad:
 - Prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis.
- Cuando se identificaron diferencias significativas:
 - Se realizaron comparaciones post hoc mediante prueba de Mann-Whitney por pares con Bonferroni.

Se calcularon, además:

- Intervalos de confianza al 95% (IC95%)

4.3 CONSIDERACIONES ÉTICAS

El presente estudio no involucró participación de seres humanos ni animales, dado que la investigación se desarrolló exclusivamente mediante ensayos laboratoriales sobre láminas termoformadas comerciales utilizadas en ortodoncia.

Por tratarse de un estudio in vitro, no fue necesaria la aplicación de consentimiento informado ni intervención clínica directa.

Asimismo, se garantizó la objetividad en la recolección y análisis de datos, evitando manipulación de resultados o sesgos metodológicos.

El estudio no presentó conflictos de interés económicos, comerciales o personales que pudieran influir en los resultados obtenidos.

La investigación fue autofinanciada por el investigador.



CAPITULO III

RESULTADOS

1 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

1.1 ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA

TABLA 1. Estadísticos descriptivos de la resistencia a la flexión (MPa) por tipo de férula termoformada

Marca	Media	Mediana	Mín – Máx	Desv. estándar	Rango
Essix	89.43	91.02	63.39 – 116.57	17.45	53.18
Bio-Art	24.97	20.57	9.86 – 54.09	14.24	44.23
Track	107.97	108.29	84.90 – 136.52	17.01	51.62

Nota: *Elaboración propia*

Track A obtuvo la media más alta en resistencia (107.97 MPa), seguido por Essix (89.43 MPa), mientras que Bio-Art mostró el valor más bajo (24.97 MPa). La dispersión (DE) fue similar entre Essix y Track (~17 MPa), mientras que Bio-Art fue el más variable en proporción a su media. La mediana cercana a la media en Essix y Track sugiere una distribución simétrica. En cambio, Bio-Art tiene una mediana inferior, lo que indica posible asimetría positiva (más valores bajos).

1.2 PRUEBAS DE NORMALIDAD

TABLA 2. Resultados de la prueba de normalidad Shapiro–Wilk para la resistencia a la flexión por marca

Marca	N	Estadístico Shapiro–Wilk	Sig. (p)
Essix	12	0.941	0.517
Bio-Art	12	0.812	0.013
Track	12	0.956	0.722

Nota: *Elaboración propia*

Según la prueba de Shapiro–Wilk, los datos de resistencia a la flexión en los grupos Essix y Track mostraron distribución normal ($p > 0.05$). Sin embargo, los datos del grupo Bio-Art no presentaron normalidad ($p = 0.013$). Por lo tanto, se optó por aplicar el análisis no paramétrico de Kruskal–Wallis para comparar las tres marcas.

1.3 COMPARACIÓN ENTRE MARCAS

TABLA 3. Comparación de rangos promedio entre marcas según la prueba de Kruskal–Wallis para la flexion por marca

Marca	N	Rango promedio
Essix	12	21.17
Bio-Art	12	6.50
Track	12	27.83

Nota: *Elaboración propia*

Estadísticos de prueba:

- H de Kruskal–Wallis = 25.754
- $gl = 2$
- Sig. asintótica = 0.000

Los resultados obtenidos mediante la prueba de Kruskal–Wallis evidencian una diferencia estadísticamente significativa en los niveles de resistencia a la flexión entre los grupos de férulas termoformadas analizados ($H = 25.754$; $gl = 2$; $p < 0.001$). Este hallazgo permite

rechazar la hipótesis nula de igualdad de distribuciones, sugiriendo que al menos una de las marcas difiere significativamente de las otras.

El análisis de los rangos promedio revela que la férula **Track A** presentó el desempeño más elevado en términos de resistencia, seguida de **Essix**, mientras que **Bio-Art** mostró el valor más bajo. Para determinar con precisión entre qué pares de marcas se presentan dichas diferencias, se aplicó una prueba de comparaciones múltiples post hoc con corrección de Bonferroni.

1.4 COMPARACIONES POST HOC

Con el objetivo de determinar entre qué pares de marcas existían diferencias significativas en la resistencia a la flexión, se aplicaron comparaciones múltiples mediante la prueba de **Mann–Whitney por pares**, utilizando una **corrección de Bonferroni** para controlar el error tipo I. Dado que se realizaron tres comparaciones, el valor de significancia ajustado fue $\alpha = 0.017$.

TABLA 4. Comparaciones post hoc entre marcas mediante la prueba de Mann–Whitney con corrección de Bonferroni de los ensayos de flexión

Comparación	p (bilateral)	¿p < 0.017?	¿Significativo?
Essix vs Bio-Art	0.000	✓ Sí	✓ Sí
Track vs Bio-Art	0.000	✓ Sí	✓ Sí
Essix vs Track	0.021	✗ No	✗ No

Nota: *Elaboración propia*

Los resultados revelan diferencias estadísticamente significativas entre **Bio-Art** y las otras dos marcas (**Essix** y **Track**), indicando que la resistencia a la flexión de Bio-Art es significativamente menor. No se halló diferencia significativa entre Essix y Track tras aplicar la corrección, aunque los datos muestran una tendencia favorable a Track.

Nota metodológica:

La **corrección de Bonferroni** consiste en dividir el nivel de significancia original (0.05) entre el número de comparaciones ($n = 3$), obteniendo un α ajustado de 0.017. Solo se consideran significativos los valores de p inferiores a este umbral.

1.5 REPRESENTACIÓN GRAFICA

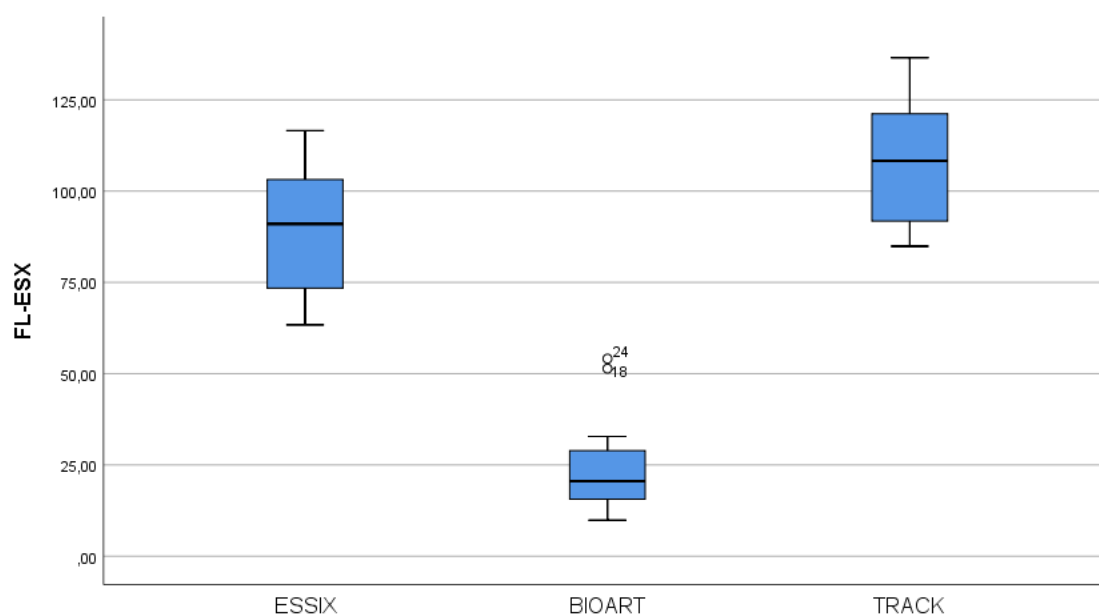


FIGURA 1. Diagrama de cajas de la resistencia a la flexión según tipo de férula termoformada

Nota: *Elaboración propia*

El gráfico muestra la distribución de los valores de resistencia a la flexión para cada marca de férula. Se observa que **Track A** presenta las mayores medianas y menor dispersión relativa, seguida de **Essix**, mientras que **Bio-Art** exhibe valores significativamente más bajos, con menor rango intercuartílico y presencia de valores atípicos. Estos hallazgos son coherentes con los resultados del análisis estadístico, indicando un desempeño inferior de Bio-Art en esta propiedad mecánica.

2 DUREZA SUPERFICIAL

2.1 ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA

TABLA 5. Estadísticos descriptivos de la dureza superficial (Shore D) por marca

Marca	N	Mediciones	Media $\pm$ DE	Mín – Máx	Rango	Mediana
Essix	4	20	65.13 $\pm$ 3.60	60.74–69.28	8.54	65.24
Bio-Art	4	20	63.68 $\pm$ 2.50	61.74–67.34	5.60	62.81
Track	4	20	64.10 $\pm$ 1.87	60.92–66.54	5.62	63.79

Nota: *Elaboración propia*

Las tres marcas presentaron valores promedio similares de dureza Shore D, con diferencias mínimas. **Essix** mostró la mayor media (65.13), pero también la mayor dispersión, mientras que **Track** presentó la menor desviación estándar, indicando mayor homogeneidad entre sus mediciones. **Bio-Art**, por su parte, evidenció un comportamiento intermedio. Estos resultados sugieren que, aunque no hay diferencias marcadamente amplias, Essix tiende a ser ligeramente más dura, pero con mayor variabilidad interna.

2.2 COMPARACIÓN ENTRE MARCAS

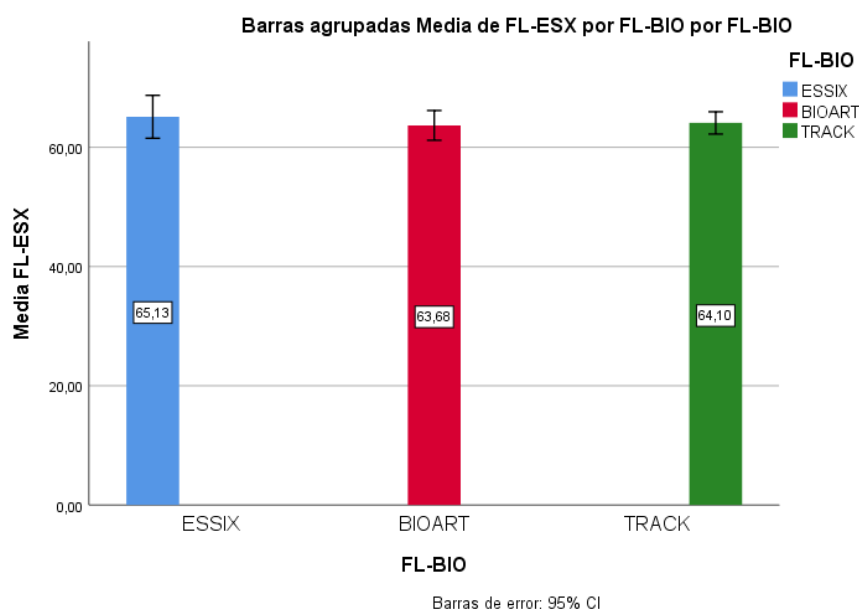


FIGURA 2. Media de dureza superficial (Shore D) por marca de férula termoformada, con barras de error estándar

Nota: *Elaboración propia*

El gráfico muestra la comparación visual de la dureza media obtenida para cada una de las tres marcas evaluadas. Se observa que Essix presenta la mayor media (65.13), seguida por Track (64.10) y Bio-Art (63.68). Sin embargo, las barras de error ($\pm$ error estándar) evidencian una superposición entre los grupos, lo que respalda los resultados de la prueba de Kruskal–Wallis, la cual no evidenció diferencias estadísticamente significativas ($p = 0.779$). Esto sugiere que las tres marcas presentan comportamientos similares en cuanto a dureza superficial.

TABLA 6. Prueba de Kruskal–Wallis para comparación de dureza superficial entre marcas

Marca	N muestras	Rango promedio
Essix	4	7.25
Bio-Art	4	5.50
Track	4	6.75

Nota: *Elaboración propia*

Estadísticos de prueba:

- $H = 0.500$
- $gl = 2$
- $p \text{ (sig. asintótica)} = 0.779$

La prueba de Kruskal–Wallis no mostró diferencias estadísticamente significativas en la dureza superficial entre las tres marcas evaluadas ($p = 0.779$). Aunque Essix presentó el rango promedio más alto, las diferencias observadas no son suficientes para afirmar superioridad respecto a Track o Bio-Art. Esto sugiere que, en términos de dureza Shore D, los tres materiales presentan un comportamiento comparable bajo las condiciones del estudio.

3 TRANSPARENCIA

3.1 ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA

TABLA 7. Estadística descriptiva del índice de transmitancia relativa (ITR %) según marca de lámina termoformada

Marca	Media ITR (%)	DE	Mínimo (%)	Máximo (%)	Rango (%)
Essix	89,22	2,05	86,00	92,00	6,00
Bio-Art	82,70	2,49	79,00	87,00	8,00
Track	88,03	2,47	82,00	90,00	8,00

Nota: *Elaboración propia*

La transparencia óptica de las láminas termoformadas fue evaluada mediante el Índice de Transmitancia Relativa (ITR%), expresado en porcentaje. Los resultados descriptivos evidenciaron diferencias entre las marcas evaluadas.

La marca Essix presentó la mayor transparencia promedio, con una media de 89,22% (DE = 2,05), seguida por Track con 88,03% (DE = 2,47), mientras que Bio-Art mostró el menor valor promedio con 82,70% (DE = 2,49).

Respecto a la dispersión de los datos, Essix presentó menor variabilidad (rango = 6%), en comparación con Bio-Art y Track, que mostraron rangos de 8%. Esto sugiere una mayor homogeneidad en la transparencia de las muestras Essix.

Los intervalos de confianza al 95% indicaron que la transparencia promedio de Essix osciló entre 87,92% y 90,52%; Bio-Art entre 81,12% y 84,28%; y Track entre 86,46% y 89,60%.

En relación con la distribución de los datos, las tres marcas mostraron valores de asimetría cercanos a la normalidad, aunque Track presentó una asimetría negativa más pronunciada (-1,300), indicando concentración de valores hacia niveles altos de transparencia. La curtosis fue negativa en Essix y Bio-Art, reflejando distribuciones ligeramente achatadas, mientras que Track mostró curtosis positiva (1,670), sugiriendo una mayor concentración de valores alrededor de la media.

3.2 PRUEBAS DE NORMALIDAD Y HOMOGENEIDAD

TABLA 8. Resultados de la prueba de normalidad Shapiro–Wilk para el Índice De Transmitancia Relativa (ITR%) por marca

Marca	N	Estadístico Shapiro–Wilk	Sig. (p)
Essix	12	0,925	0,334
Bio-Art	12	0,939	0,486
Track	12	0,863	0,054

Nota: *Elaboración propia*

Según la prueba de Shapiro–Wilk, los valores de transmitancia relativa (ITR%) en los tres grupos presentan una distribución compatible con la normalidad ($p > 0,05$). Aunque el grupo Track mostró un valor cercano al umbral ($p = 0,054$), no se rechaza la hipótesis de normalidad. Por lo tanto, se aplicó un análisis paramétrico (ANOVA de un factor) para comparar las medias entre las tres marcas de férulas.

TABLA 9. Prueba De Homogeneidad De Varianzas De Levene Para El Índice De Transmitancia Relativa

Método	gl1	gl2	Estadístico de Levene	Sig. (p)
Se basa en la media	2	33	0,274	0,762
Se basa en la mediana	2	33	0,100	0,905
Mediana con ajuste	2	30,011	0,100	0,905
Media recortada al 5%	2	33	0,246	0,783

Nota: *Elaboración propia*

La prueba de Levene mostró que no existen diferencias estadísticamente significativas en la varianza de los grupos ($p > 0,05$ en todos los métodos evaluados). Esto indica que se cumple el supuesto de homogeneidad de varianzas, lo que valida el uso del análisis de varianza (ANOVA) para comparar el índice de transmitancia relativa entre marcas.

Además, el resultado del ANOVA ($F = 26,383$; $p < 0,001$) evidenció diferencias significativas entre las medias de las marcas evaluadas. En consecuencia, se procedió al análisis post hoc para identificar entre qué grupos se presentan estas diferencias.

3.3 COMPARACIÓN ENTRE MARCAS

TABLA 10. Comparación del ITR% entre Essix, Bio-Art y Track mediante Anova

ANOVA					
FL-ESX					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	,029	2	,014	26,383	,000
Dentro de grupos	,018	33	,001		
Total	,047	35			

Nota: *Elaboración propia*

Para determinar si existían diferencias significativas en el índice de transmitancia relativa (ITR%) entre las férulas termoformadas de las marcas Essix, Bio-Art y Track, se aplicó un análisis de varianza de un factor (ANOVA). Los resultados evidenciaron diferencias estadísticamente significativas entre las medias de los grupos ($F = 26,383$; $p < 0,001$), lo que indica que al menos una de las marcas presenta un comportamiento distinto respecto a la transmisión de luz. Dado que se cumplieron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas, el uso del ANOVA fue estadísticamente válido.

3.4 REPRESENTACIÓN GRAFICA

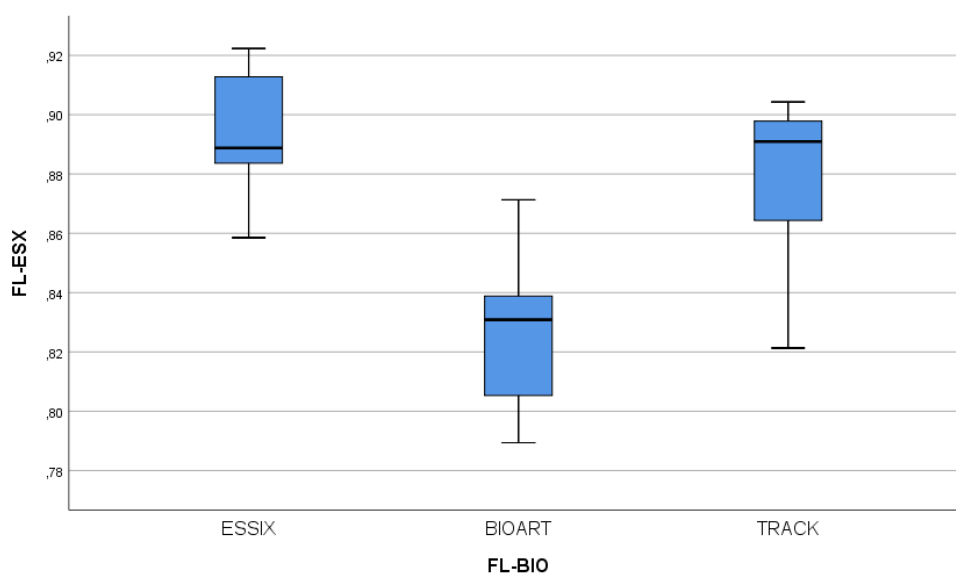


FIGURA 3 Diagrama de cajas del índice de transmitancia relativa (ITR %) según marca de lámina termoformada

Nota: *Elaboración propia*

Este diagrama representa la distribución de valores de transmitancia relativa antes del ensayo de flexión para las tres marcas evaluadas: **Essix**, **Bio-Art** y **Track**. Se observa que:

- **Essix** presenta una mediana más alta, con valores concentrados y poco dispersos, lo que sugiere mayor uniformidad y mayor transparencia relativa.
- **Track** muestra un comportamiento similar al de Essix, aunque con mayor dispersión hacia valores intermedios.
- **Bio-Art** presenta la **menor mediana** y mayor dispersión, indicando **menor transmitancia relativa** en comparación con las otras marcas.

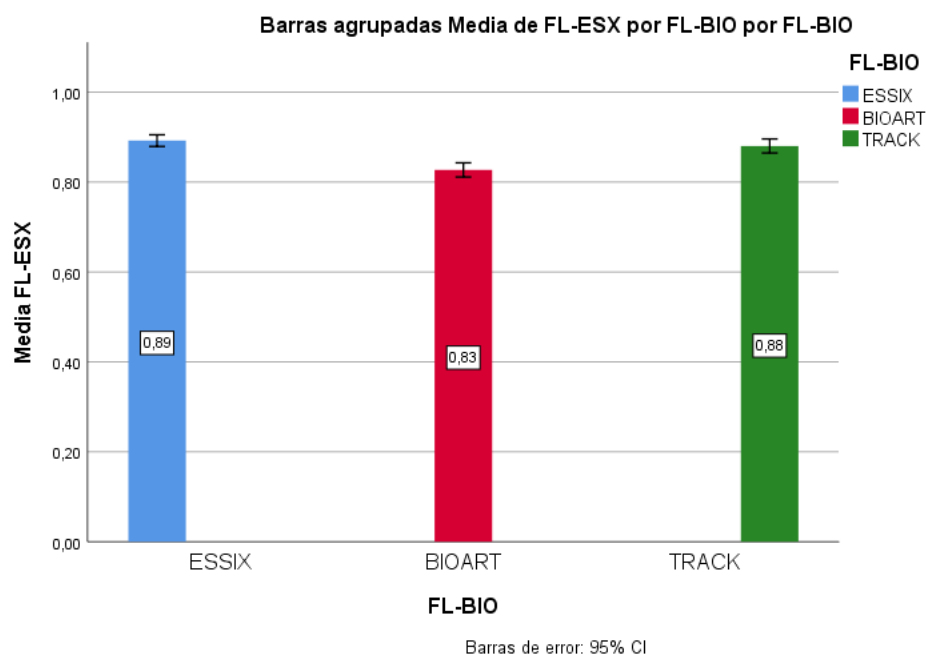


FIGURA 4. Media del índice de transmitancia relativa (ITR %) con intervalos de confianza al 95% según marca de lámina termoformada

Nota: *Elaboración propia*

El gráfico de columnas muestra la **media del ITR%** para cada una de las tres marcas de férulas termoformadas evaluadas (**Essix, Bio-Art y Track**), junto con sus respectivos intervalos de confianza al 95 %. Se observó que:

- **Essix** presentó la mayor media de transmitancia (**0,89**), seguida de **Track (0,88)** y **Bio-Art (0,83)**.
- Aunque las diferencias son numéricamente visibles, los **intervalos de confianza** de Essix y Track se solapan parcialmente, lo que sugiere similitud entre ambos.
- En cambio, **Bio-Art presenta un ITR más bajo**, indicando una **menor transparencia óptica** relativa frente a las otras marcas.

3.5 COMPARACIONES POST HOC

TABLA 11. Comparaciones Post Hoc entre marcas mediante el test de Tukey HSD

Comparación	Diferencia de medias (I-J)	Sig. (p)	Interpretación
Essix vs Bio-Art	0,0652	0,000	Diferencia significativa
Essix vs Track	0,0119	0,437	No significativa
Bio-Art vs Track	-0,0534	0,000	Diferencia significativa

Nota: *Elaboración propia*

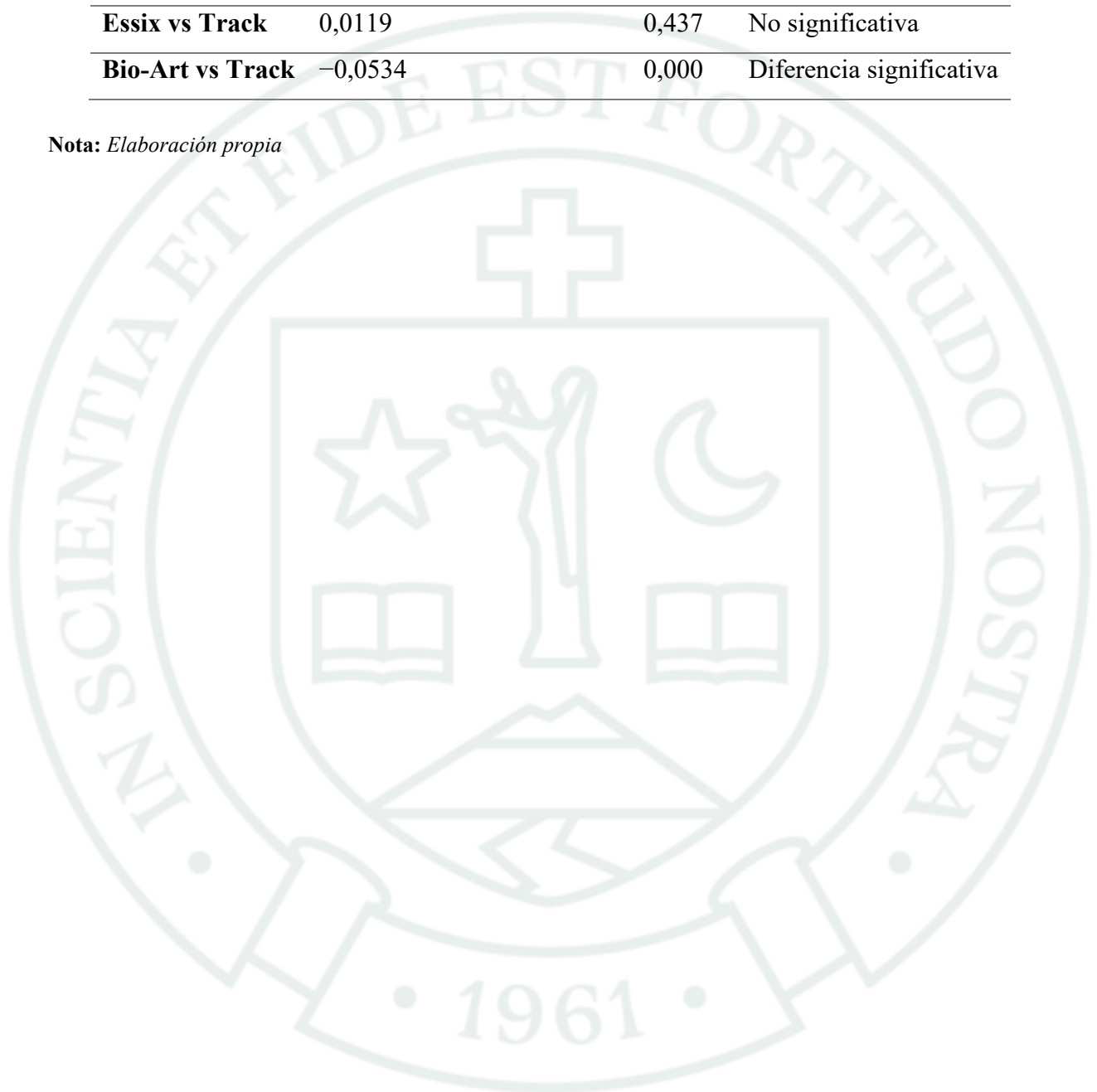


TABLA 12. Comparaciones Post Hoc entre marcas por subconjuntos

FL-ESX			
HSD Tukey ^a			
		Subconjunto para alfa = 0.05	
FL-BIO	N	1	2
BIOART	12	,8270	
TRACK	12	,8803	
ESSIX	12	,8922	
Sig.		1,000	,437

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 12,000.

Nota: *Elaboración propia*

Los resultados de la prueba **post hoc Tukey HSD** confirmaron diferencias estadísticamente significativas en el índice de transmitancia relativa entre las férulas **Essix y Bio-Art** ($p < 0,001$) y entre **Track y Bio-Art** ($p < 0,001$), pero **no se observaron diferencias significativas** entre **Essix y Track** ($p = 0,437$).

Esto sugiere que **Bio-Art** presenta una transmitancia significativamente menor en comparación con las otras dos marcas. Essix y Track comparten un desempeño óptico estadísticamente similar.

Además, los subconjuntos homogéneos respaldan esta agrupación en dos niveles de comportamiento óptico:

- Subconjunto 1: Bio-Art
- Subconjunto 2: Essix y Track

TABLA 13. Comparación final del desempeño de las láminas termoformadas según variables evaluadas

Variable evaluada	Essix ACE	Bio-Art Crystal	Track A	Mejor desempeño
Resistencia a la flexión	Media alta, rango medio	Media baja, menor rango	Media más alta, rango amplio	Track A
Dureza superficial	Media ligeramente mayor	Media homogénea	Media cercana a Essix	Sin diferencias significativas
Transparencia (ITR%)	Mayor índice de transmitancia (0,89)	Menor transmitancia (~0,83)	Valor intermedio (~0,88)	Essix ACE

Nota: *Elaboración propia*

Track A presentó la mayor resistencia a la flexión, mientras que Essix ACE obtuvo el mejor desempeño en transparencia óptica. En cuanto a la dureza superficial, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre las tres marcas evaluadas. Estos hallazgos confirman parcialmente la hipótesis de que existen diferencias en el rendimiento entre las láminas termoformadas de 1 mm evaluadas, dependiendo del criterio analizado.

DISCUSION

La estabilidad post-tratamiento en ortodoncia constituye una preocupación persistente, dado que la recidiva ocurre en hasta un 70% de los casos. En este contexto, los retenedores termoformados (VFRs) han ganado aceptación por su superioridad estética y elevada satisfacción del paciente. No obstante, estas ventajas se ven contrarrestadas por su limitada vida útil, atribuida a una mayor susceptibilidad a fracturas, desgaste y fallas estructurales (20)(34). El presente estudio se orientó a analizar diferencias significativas en propiedades físico-mecánicas y estéticas de tres láminas comerciales disponibles en Perú: Essix, Bio-Art y Track, contribuyendo así a la toma de decisiones clínicas basadas en evidencia.

Los resultados permiten aceptar la hipótesis alterna, ya que se observaron diferencias significativas en la resistencia a la flexión y transparencia. La resistencia a la flexión es fundamental para predecir el comportamiento del material frente a las fuerzas oclusales, replicando las condiciones intraorales que podrían generar fallas clínicas como la fractura del retenedor. Track presentó la mayor resistencia (107,97 MPa), seguido de Essix (89,43 MPa) y Bio-Art (24,97 MPa). Esta jerarquía sugiere que materiales como Track y Essix poseen una estructura polimérica más robusta o mejor procesamiento industrial. A pesar de que Essix y Track no mostraron diferencias estadísticamente significativas tras el ajuste de Bonferroni ($p > 0,017$), ambos superaron de forma categórica a Bio-Art, indicando su mayor fiabilidad clínica. Estos resultados coinciden con estudios previos que posicionan al poliéster (PETG) y al poliuretano como materiales con alta resistencia mecánica y durabilidad prolongada en medios orales (5)(33). Asimismo, investigaciones que simulan ambientes ácidos han demostrado que la resistencia a la flexión puede reducirse significativamente, lo que justifica aún más la elección inicial de materiales con valores elevados (10).

En cuanto a la dureza superficial (Shore D), no se hallaron diferencias estadísticamente significativas entre los materiales evaluados ($p = 0.779$). Este hallazgo sugiere una capacidad comparable para resistir la indentación inicial, reduciendo el riesgo inmediato de desgaste superficial. Sin embargo, la dureza puede alterarse por factores como agentes blanqueadores o el tiempo de uso prolongado. Investigaciones anteriores han descrito cómo el peróxido de carbamida puede modificar la dureza y la rugosidad superficial, generando un potencial cambio en la bioadaptabilidad del material(9) Por ello, aunque los resultados iniciales sean semejantes, su comportamiento clínico puede divergir con el tiempo, siendo relevante considerar la estabilidad mecánica a largo plazo y la respuesta frente a productos de higiene.

Respecto a la transparencia, parámetro clave para la aceptación estética del paciente, se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre las marcas evaluadas ($p < 0,001$). Las láminas Essix (89,22%) y Track (88,03%) presentaron los mayores índices de transmitancia relativa (ITR%), mientras que Bio-Art (82,70%) mostró el valor más bajo. Aunque clínicamente todos los materiales evidenciaron niveles adecuados de transparencia, pequeñas variaciones porcentuales pueden influir en la percepción estética del paciente, especialmente en tratamientos ortodónticos donde la discreción visual constituye un factor relevante estéticos prolongados (20) (34). Además, la literatura indica que la estabilidad cromática depende de la composición polimérica: los materiales a base de PETG, como Essix, tienden a absorber menos pigmentos que los basados en PU o PVC (33). Así, Essix y Track, al ofrecer mayor transparencia inicial, presentan también un potencial superior en términos de estabilidad visual en el tiempo.

Desde una perspectiva clínica, los resultados obtenidos permiten establecer recomendaciones orientadas a la selección racional de materiales. Track destaca por su elevada resistencia a la flexión, lo que lo hace especialmente adecuado para pacientes con para funciones como el bruxismo. Essix, por su parte, ofrece un equilibrio entre la resistencia mecánica y alta transparencia, siendo una alternativa favorable en pacientes con alta demanda estética. En contraste, aunque Bio-Art presenta valores comparables en dureza, su menor desempeño en flexión y transparencia podría limitar su indicación en escenarios clínicos más exigentes. Estos hallazgos coinciden parcialmente con estudios nacionales que reportan variabilidad en la elección de retenedores y en los protocolos de retención, influenciados por factores como la experiencia clínica y las preferencias del paciente (36). En conjunto, este estudio refuerza la importancia de seleccionar materiales termoformados no únicamente en función de su disponibilidad o costo, sino mediante un enfoque integral sustentado en evidencia científica.

Limitaciones del estudio

El presente estudio presentó algunas limitaciones metodológicas que deben considerarse al interpretar los resultados. En primer lugar, las pruebas fueron realizadas bajo condiciones laborales controladas, lo cual no reproduce completamente el comportamiento clínico intraoral, donde factores como temperatura, humedad, saliva, cargas cíclicas y hábitos funcionales pueden modificar el desempeño de los materiales.

Asimismo, se evaluaron únicamente tres marcas comerciales disponibles en el mercado peruano, por lo que los hallazgos no pueden extrapolarse a todos los materiales termoformados existentes.

Respecto a la prueba de dureza Shore D, el reducido espesor de las láminas pudo influir parcialmente en la respuesta del indentador, pese a la estandarización del soporte utilizado durante las mediciones.

Finalmente, la transparencia óptica fue determinada mediante luxómetro y cálculo del Índice de Transmitancia Relativa (ITR%), método indirecto que puede diferir de técnicas espectrofotométricas de alta precisión.



CONCLUSIONES

PRIMERO.

Se compararon las propiedades físico-mecánicas y estéticas de las láminas Essix, Bio-Art y Track disponibles en el mercado peruano, encontrándose diferencias estadísticamente significativas entre las marcas en la resistencia a la flexión y la transparencia. Track A exhibió el mejor desempeño en resistencia a la flexión, y Essix ACE en transparencia óptica.

SEGUNDO.

No se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la dureza superficial (Shore D) entre las láminas termoformadas Essix (Media: 65.13), Bio-Art (Media: 63.68) y Track (Media: 64.10) ($p = 0.779$), sugiriendo que los tres materiales presentan un comportamiento comparable en cuanto a la resistencia a la indentación superficial bajo las condiciones del estudio.

TERCERO.

Existe una diferencia estadísticamente significativa en la resistencia a la flexión entre las marcas ($p < 0.001$). Track A (Media: 107.97 MPa) demostró la mayor resistencia. La lámina Bio-Art (Media: 24.97 MPa) mostró una resistencia significativamente menor que Essix y Track, indicando una menor durabilidad estructural.

CUARTO.

Existen diferencias estadísticamente significativas en el Índice de Transmitancia Relativa (ITR%) entre las láminas evaluadas ($p < 0,001$). Essix (media: 89,22%) y Track (media: 88,03%) presentaron una transparencia óptica superior y estadísticamente similar, mientras que Bio-Art (media: 82,70%) mostró valores significativamente menores de transparencia.

RECOMENDACIONES

PRIMERO.

Se recomienda a los especialistas en Ortodoncia y Ortopedia Maxilar priorizar el uso de las láminas Track A o Essix ACE para la confección de retenedores termoformados, especialmente en pacientes con hábitos de bruxismo moderado o donde se anticipe una alta demanda mecánica. La lámina Bio-Art debe ser utilizada con cautela, dada su significativa y estadísticamente inferior resistencia a la flexión, que puede comprometer la durabilidad del retenedor.

SEGUNDO.

Se sugiere realizar estudios *in vitro* e *in vivo* que evalúen el desgaste oclusal y la estabilidad cromática (decoloración) de las láminas Essix, Bio-Art y Track después de la exposición prolongada a la saliva, a agentes de limpieza (como el peróxido de carbamida), y a ambientes ácidos (simulando reflujo).

TERCERO.

Es imperativo que los ortodoncistas exijan a los distribuidores información técnica objetiva y comparable sobre las propiedades físico-mecánicas de las láminas, ya que los resultados de este estudio demuestran que las marcas de uso frecuente varían sustancialmente en su rendimiento, y la información del fabricante suele ser limitada.

CUARTO.

Dado que el grosor preferido para los retenedores termoformados varía (0.63 mm a 2.0 mm), se recomienda investigar si las diferencias observadas en dureza, flexión y transparencia se mantienen o cambian al evaluar las mismas marcas en un espesor distinto al estándar de 1 mm utilizado en esta investigación

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

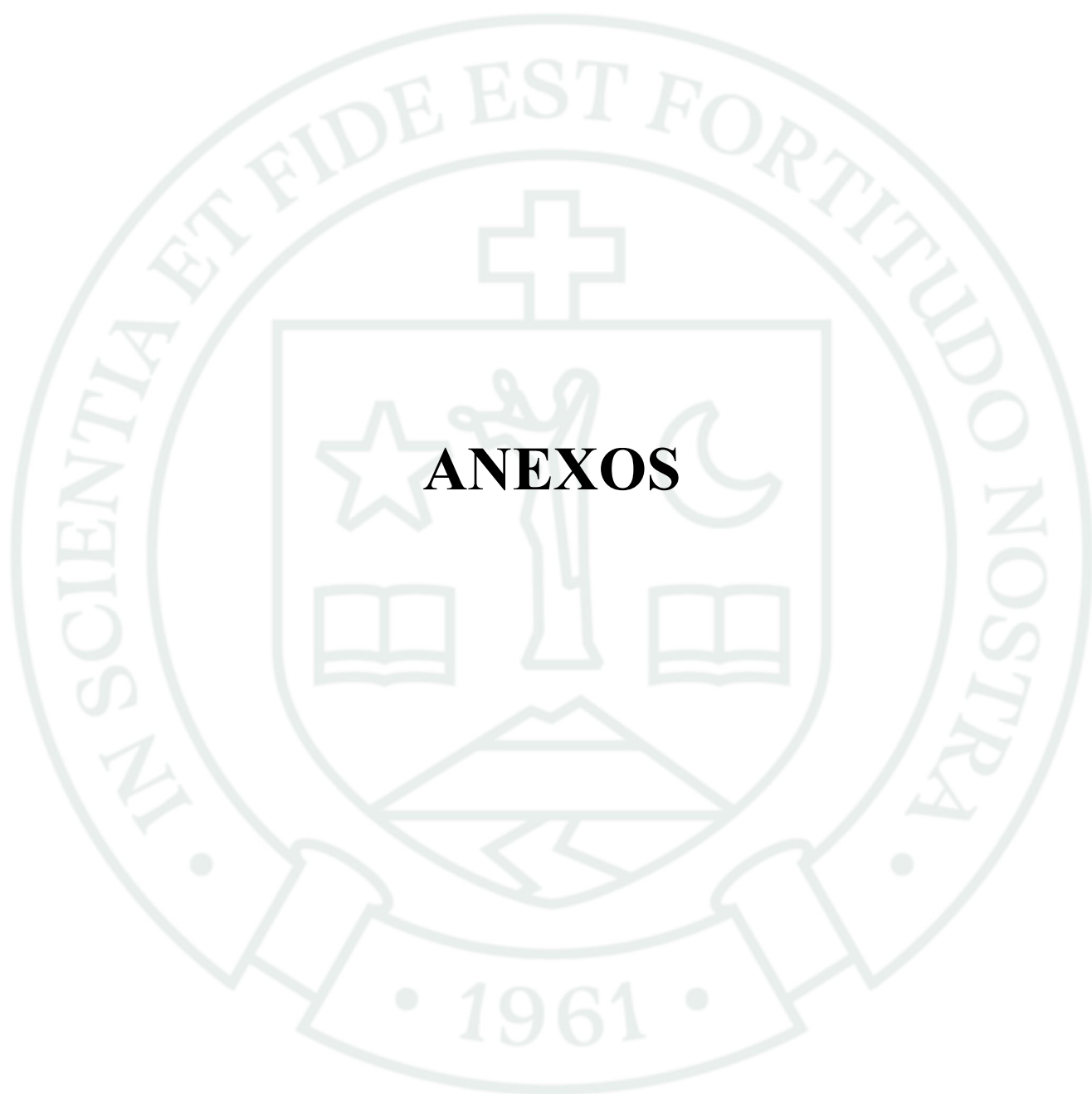
1. Ramazanzadeh B, Ahrari F, Hosseini ZS. The retention characteristics of Hawley and vacuum-formed retainers with different retention protocols. *J Clin Exp Dent*. 2018 Mar 1;10(3):e224–31. doi:10.4317/jced.54511
2. Çifter M, Gümrü Çelikel AD, Çekici A. Effects of vacuum-formed retainers on periodontal status and their retention efficiency. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2017 Dec 1;152(6):830–5. doi:10.1016/j.ajodo.2017.05.029 PubMed PMID: 29173862.
3. Pratt MC, Kluemper GT, Hartsfield JK, Fardo D, Nash DA. Evaluation of retention protocols among members of the American Association of Orthodontists in the United States. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2011 Oct;140(4):520–6. doi:10.1016/j.ajodo.2010.10.023 PubMed PMID: 21967939.
4. Ashari A, Nik Mustapha NM, Yuen JJX, Saw ZK, Lau MN, Xian L, et al. A two-year comparative assessment of retention of arch width increases between modified vacuum-formed and Hawley retainers: a multi-center randomized clinical trial. *Prog Orthod*. 2022 Dec 1;23(1). doi:10.1186/s40510-022-00424-5 PubMed PMID: 36018418.
5. Grünheid T, Bitner TF. Wear and fatigue resistance: An in-vitro comparison of three polyethylene terephthalate glycol and thermoplastic polyurethane materials for vacuum-formed retainers. *Int Orthod*. 2023 Jun 1;21(2). doi:10.1016/j.ortho.2023.100748 PubMed PMID: 36934632.
6. Forde K, Storey M, Littlewood SJ, Scott P, Luther F, Kang J. Bonded versus vacuum-formed retainers: A randomized controlled trial. Part 1: Stability, retainer survival, and patient satisfaction outcomes after 12 months. *Eur J Orthod*. 2018 Jul 27;40(4):387–98. doi:10.1093/ejo/cjx058 PubMed PMID: 29059289.
7. Sandhya V, Arun AV, Mahendra S, Chandrashekar BS, Shetty B, Mahesh CM, et al. Retention protocols and use of vacuum-formed retainers among specialist orthodontists in India. *J World Fed Orthod*. 2019 Jun 1;8(2):64–7. doi:10.1016/j.ejwf.2019.02.004

8. Akgün FA, Senisik NE, Çetin ES. Evaluation of the efficacy of different cleaning methods for orthodontic thermoplastic retainers in terms of bacterial colonization. *Turk J Orthod.* 2019;32(4):219–28. doi:10.5152/TURKJORTHOD.2019.19061 PubMed PMID: 32110467.
9. Jin C, Gray AR, Brunton PA, Farella M, Mei L. Effect of carbamide peroxide on biomechanical properties of vacuum-formed retainers: A split-mouth randomized controlled trial. *J Dent.* 2024 Apr 1;143. doi:10.1016/j.jdent.2024.104902 PubMed PMID: 38432352.
10. Alkawari HM, Baidas LF, Alyahya AA, Alotaibi RA, Alshayea EI. Impact of simulated gastric acid on the physical and mechanical properties of vacuum-formed retainers: an in vitro study. *BMC Oral Health.* 2025 Dec 1;25(1). doi:10.1186/s12903-025-05548-8 PubMed PMID: 39893392.
11. Espinar Escalona E, Barrera Mora JM, Llamas Carreras JM, Morales Santana JL, Solano Mendoza B, Solano Reina JE. Artículo de revisión: Sistemas y tipos de retención. *Ortod Esp.* 2011.
12. Gómez Gómez SL, Salazar LF, Guisado D, Betancur JJ. Efectividad en la estabilidad dentaria y oclusal luego del tratamiento de retención con dos tipos de retenedores en individuos que fueron intervenidos ortodóncicamente. Universidad CES; 2012.
13. Farfán Borja EN. Contención fija postratamiento de ortodoncia [Internet]. 2024. Available from: <http://hdl.handle.net/10757/675546>
14. Melissa CD, Díaz MJ. Contención y estabilidad en ortodoncia. Universidad Inca Garcilaso de la vega; 2018.
15. Wasserman Alexandra Barberá I. Essix® retainer as an alternative in orthodontics: a systematic review férula de retención o placa essix® como alternativa en ortodoncia: revisión sistemática 1.
16. Espinoza L, Carolina A, Rios L, Alejandra X, Valderrama M, Javier E. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas asesor(es).

17. Figueroa Gayoso g. Factores asociados a la elección del tipo de retenedor en el tratamiento de ortodoncia fija - Chiclayo, 2020 [Internet]. 2022. Available from: <https://orcid.org/0000-0002-3472-9997>
18. Ghaffar F, Mughal AT, Jan A, Jan R, Shafique HZ, Mehmo S. EFFECTS OF FIXED VS REMOVABLE ORTHODONTIC RETAINERS ON PERIODONTAL HEALTH. *Journal of Postgraduate Medical Institute*. 2022 Jun 30;36(2):91–6. doi:10.54079/jpmi.36.2.3050
19. Moslemzadeh SH, Sohrabi A, Rafighi A, Farshidnia S. Comparison of stability of the results of orthodontic treatment and gingival health between hawley and vacuum-formed retainers. *Journal of Contemporary Dental Practice*. 2018 Apr 1;19(4):443–9. doi:10.5005/jp-journals-10024-2281 PubMed PMID: 29728551.
20. Saleh M, Hajeer MY, Muessig D. Acceptability comparison between Hawley retainers and vacuum-formed retainers in orthodontic adult patients: a single-centre, randomized controlled trial. *Eur J Orthod*. 2017 Aug 1;39(4):453–61. doi:10.1093/ejo/cjx024 PubMed PMID: 28430890.
21. Da Jason CS, Seneviratne CJ, Wong HC, Yow M. Effects of Hawley, Essix, and Viverra® retainers on salivary properties, oral hygiene, and streptococcus mutans levels: A prospective clinical pilot study. *APOS Trends in Orthodontics*. 2021 Jul 1;11(3):198–208. doi:10.25259/APOS_5_2021
22. Raja TA, Littlewood SJ, Munyombwe T, Bubb NL. Wear resistance of four types of vacuum-formed retainer materials: A laboratory study. *Angle Orthodontist*. 2014;84(4):656–64. doi:10.2319/061313-448.1 PubMed PMID: 24364752.
23. Patnaik P, Nanda SB, Mishra S. “Comparing the effectiveness, acceptability and oral hygiene status between vacuum formed retainer and Begg’s retainer”: a pilot study. *BMC Oral Health*. 2023 Dec 1;23(1). doi:10.1186/s12903-023-03010-1 PubMed PMID: 37161557.
24. Meade MJ, Millett D. Retention protocols and use of vacuum-formed retainers among specialist orthodontists. *J Orthod*. 2013 Dec;40(4):318–25. doi:10.1179/1465313313Y.0000000066 PubMed PMID: 24297964.

25. Demir A, Babacan H, Nalcaci R, Topcuoglu T. Comparison of retention characteristics of Essix and Hawley retainers. *Korean J Orthod.* 2012;42(5):255–62. doi:10.4041/kjod.2012.42.5.255
26. Krämer A, Sjöström M, Hallman M, Feldmann I. Vacuum-formed retainers and bonded retainers for dental stabilization-a randomized controlled trial. Part II: Patients' perceptions 6 and 18 months after orthodontic treatment. *Eur J Orthod.* 2021 Apr 1;43(2):136–43. doi:10.1093/ejo/cjaa039 PubMed PMID: 32613244.
27. Krämer A, Sjöström M, Hallman M, Feldmann I. Vacuum-formed retainer versus bonded retainer for dental stabilization in the mandible-A randomized controlled trial. Part I: Retentive capacity 6 and 18 months after orthodontic treatment. *Eur J Orthod.* 2020 Oct 1;42(5):551–8. doi:10.1093/ejo/cjz072 PubMed PMID: 31665279.
28. Edman Tynelius G, Bondemark L, Lilja-Karlander E. A randomized controlled trial of three orthodontic retention methods in Class I four premolar extraction cases - stability after 2 years in retention. *Orthod Craniofac Res.* 2013 May;16(2):105–15. doi:10.1111/ocr.12011 PubMed PMID: 23324112.
29. Sonesson M, Naraghi S, Bondemark L. Cost analysis of two types of fixed maxillary retainers and a removable vacuum-formed maxillary retainer: a randomized controlled trial. *Eur J Orthod.* 2022 Apr 1;44(2):197–202. doi:10.1093/ejo/cjab080 PubMed PMID: 35021204.
30. Saw ZK, Yuen JJX, Manzano SI, Mustapha NMN, Lau MN, Mohairuz PB, et al. A national survey on retainer preferences and regimens among orthodontists in Malaysia. *Australasian Orthodontic Journal.* 2025 Jan 1;41(1):160–8. doi:10.2478/aoj-2025-0013
31. Al-Moghrabi D, Colonio Salazar FB, Johal A, Fleming PS. Factors influencing adherence to vacuum-formed retainer wear: A qualitative study. *J Orthod.* 2019 Sep 1;46(3):212–9. doi:10.1177/1465312519851196 PubMed PMID: 31151360.
32. Bibona K, Shroff B, Best AM, Lindauer SJ. Factors affecting orthodontists' management of the retention phase. *Angle Orthodontist.* 2014 Mar;84(2):225–30. doi:10.2319/051313-372.1 PubMed PMID: 23944224.

33. Aldweesh AH, Al-Maflehi NS, AlGhizzi M, AlShayea E, Albarakati SF. Comparison of mechanical properties and color stability of various vacuum-formed orthodontic retainers: An in vitro study. *Saudi Dental Journal*. 2023 Dec 1;35(8):953–9. doi:10.1016/j.sdentj.2023.09.004
34. Tarman KE, Jazaldi F, Latief AA, Soegiharto BM. Difference in acceptance and satisfaction perception on the use of Hawley and vacuum-formed retainers among post-orthodontic patients. *APOS Trends in Orthodontics*. 2025 Apr 1;15(2):173–9. doi:10.25259/APOS_60_2024
35. Elshebiny T, Canepa I, Kasper FK, Tsolakis IA, Matthaios S, Palomo JM. The influence of 3-dimensional printing layer thickness on model accuracy and the perceived fit of thermoformed retainers. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2025 Apr 1;167(4):490-498.e3. doi:10.1016/j.ajodo.2024.11.010 PubMed PMID: 39818678.
36. Espinoza L, Carolina A, Rios L, Alejandra X, Valderrama M, Javier E. Comparación de protocolos de retención e información brindada al paciente post tratamiento según las características generales de los especialistas en ortodoncia y Ortopedia maxilar [Internet]. 2025 Aug [cited 2025 Aug 13]. Available from: <http://doi.org/10.19083/tesis/668480>
37. Nury Mercedes Cristóbal Flores. “Estabilidad a largo plazo del tratamiento post ortodoncia con el uso de contención removible superior y fija inferior. 2019.



ANEXOS

Anexo N°1

Prueba de ensayo de flexión de férula Essix

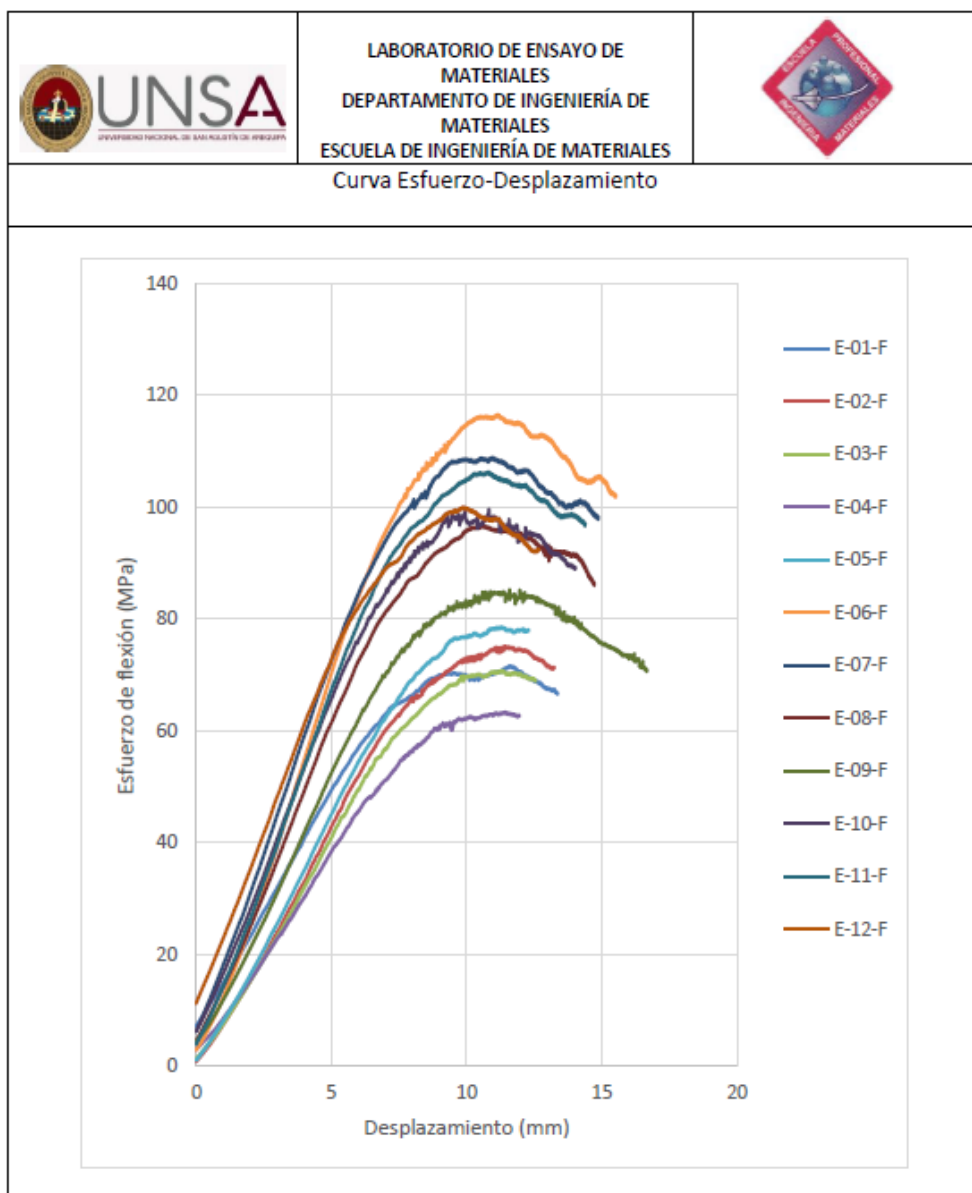
 UNSA UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA	LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE MATERIALES ESCUELA DE INGENIERÍA DE MATERIALES																																																																															
<u>ENSAYO DE FLEXIÓN</u> SOLICITADO POR : Luis Hernán Calderon Vilca REALIZADO POR : Laboratorio de Ensayo de Materiales-EPIMAT-UNSA MUESTRA : Resina Essix FECHA DE EJECUCIÓN : 12/11/2025 FECHA DE EMISIÓN : 14/11/2025																																																																																
<u>RESULTADOS</u> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Muestra</th> <th>Esfuerzo Máximo (MPa)</th> <th>Velocidad de Ensayo (mm/min)</th> <th>Ancho (mm)</th> <th>Espesor (mm)</th> <th>Área sección transversal (mm²)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>E-01-F</td><td>71.67</td><td>2.00</td><td>15.00</td><td>0.80</td><td>12.00</td></tr> <tr><td>E-02-F</td><td>75.16</td><td>2.00</td><td>15.00</td><td>0.80</td><td>12.00</td></tr> <tr><td>E-03-F</td><td>70.77</td><td>2.00</td><td>15.00</td><td>0.80</td><td>12.00</td></tr> <tr><td>E-04-F</td><td>63.39</td><td>2.00</td><td>15.00</td><td>0.80</td><td>12.00</td></tr> <tr><td>E-05-F</td><td>78.62</td><td>2.00</td><td>15.00</td><td>0.80</td><td>12.00</td></tr> <tr><td>E-06-F</td><td>116.57</td><td>2.00</td><td>15.00</td><td>0.80</td><td>12.00</td></tr> <tr><td>E-07-F</td><td>108.931</td><td>2.00</td><td>15.00</td><td>0.80</td><td>12.00</td></tr> <tr><td>E-08-F</td><td>96.76</td><td>2.00</td><td>15.00</td><td>0.80</td><td>12.00</td></tr> <tr><td>E-09-F</td><td>85.27</td><td>2.00</td><td>15.00</td><td>0.80</td><td>12.00</td></tr> <tr><td>E-10-F</td><td>99.62</td><td>2.00</td><td>15.00</td><td>0.80</td><td>12.00</td></tr> <tr><td>E-11-F</td><td>106.29</td><td>2.00</td><td>15.00</td><td>0.80</td><td>12.00</td></tr> <tr><td>E-12-F</td><td>100.05</td><td>2.00</td><td>15.00</td><td>0.80</td><td>12.00</td></tr> </tbody> </table>			Muestra	Esfuerzo Máximo (MPa)	Velocidad de Ensayo (mm/min)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área sección transversal (mm²)	E-01-F	71.67	2.00	15.00	0.80	12.00	E-02-F	75.16	2.00	15.00	0.80	12.00	E-03-F	70.77	2.00	15.00	0.80	12.00	E-04-F	63.39	2.00	15.00	0.80	12.00	E-05-F	78.62	2.00	15.00	0.80	12.00	E-06-F	116.57	2.00	15.00	0.80	12.00	E-07-F	108.931	2.00	15.00	0.80	12.00	E-08-F	96.76	2.00	15.00	0.80	12.00	E-09-F	85.27	2.00	15.00	0.80	12.00	E-10-F	99.62	2.00	15.00	0.80	12.00	E-11-F	106.29	2.00	15.00	0.80	12.00	E-12-F	100.05	2.00	15.00	0.80	12.00
Muestra	Esfuerzo Máximo (MPa)	Velocidad de Ensayo (mm/min)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área sección transversal (mm²)																																																																											
E-01-F	71.67	2.00	15.00	0.80	12.00																																																																											
E-02-F	75.16	2.00	15.00	0.80	12.00																																																																											
E-03-F	70.77	2.00	15.00	0.80	12.00																																																																											
E-04-F	63.39	2.00	15.00	0.80	12.00																																																																											
E-05-F	78.62	2.00	15.00	0.80	12.00																																																																											
E-06-F	116.57	2.00	15.00	0.80	12.00																																																																											
E-07-F	108.931	2.00	15.00	0.80	12.00																																																																											
E-08-F	96.76	2.00	15.00	0.80	12.00																																																																											
E-09-F	85.27	2.00	15.00	0.80	12.00																																																																											
E-10-F	99.62	2.00	15.00	0.80	12.00																																																																											
E-11-F	106.29	2.00	15.00	0.80	12.00																																																																											
E-12-F	100.05	2.00	15.00	0.80	12.00																																																																											
EQUIPO: - Sistema de prueba de materiales, Marca INSTRON modelo 23-100 - Celda de carga de tensión. Capacidad 1KN																																																																																
OBSERVACIONES: -En estos ensayos se calcularon los esfuerzos máximos																																																																																




Ing. Elmer Mamani Calcina
Laboratorio de Ensayo de Materiales

Anexo N°2

Curva de Esfuerzo-Desplazamiento de férula Essix




Ing. Elmer Mamani Calcina
Laboratorio de Ensayo de Materiales

Anexo N°3

Prueba de ensayo de flexión de férula Bio-Art

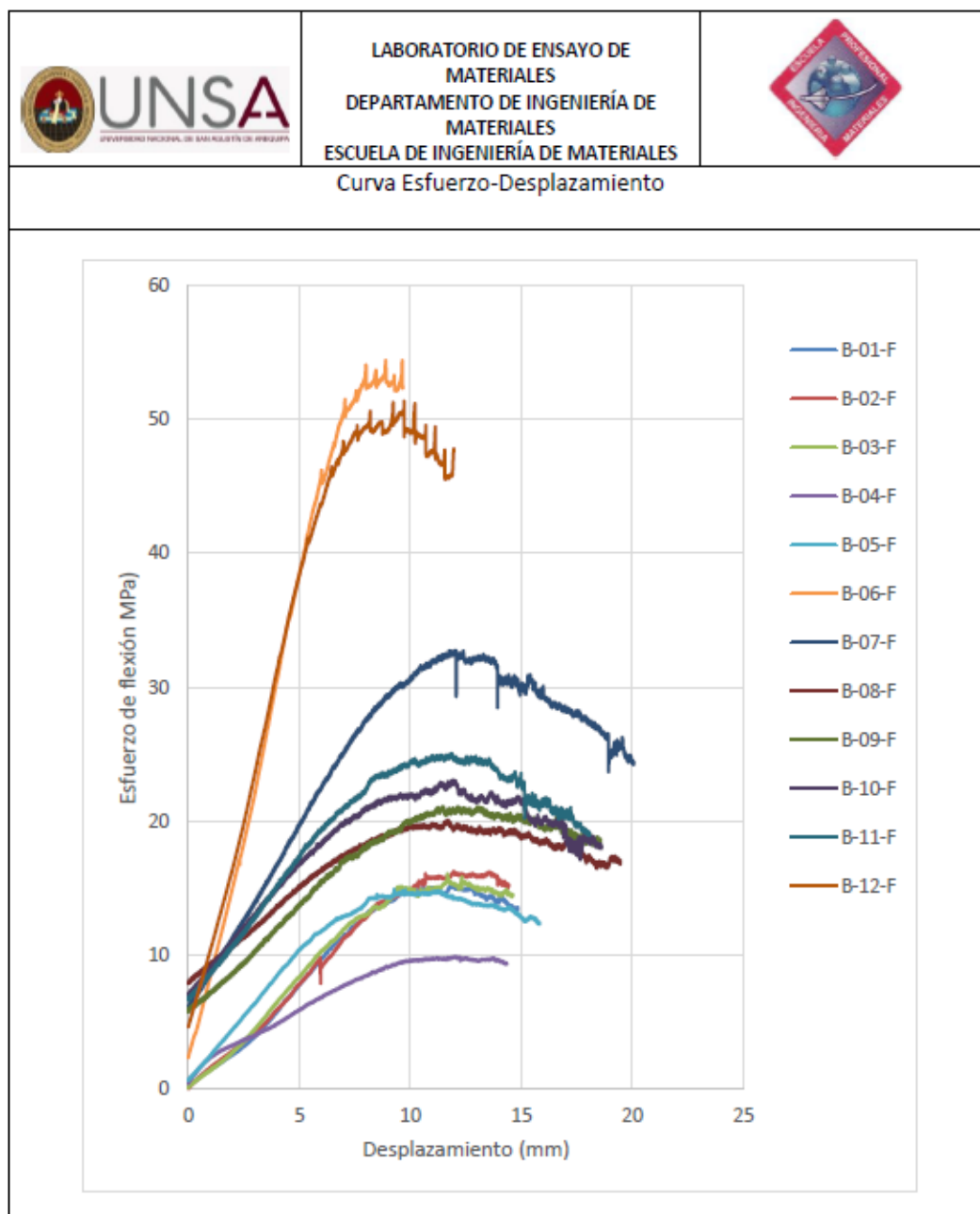
 UNSA UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA	LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE MATERIALES ESCUELA DE INGENIERÍA DE MATERIALES				
<u>ENSAYO DE FLEXIÓN</u>					
SOLICITADO POR : Luis Hernán Calderon Vilca REALIZADO POR : Laboratorio de Ensayo de Materiales-EPIMAT-UNSA MUESTRA : Lámina Bio-Art(PET-G)					
FECHA DE EJECUCIÓN :12/11/2025 FECHA DE EMISIÓN : 14/11/2025					
<u>RESULTADOS</u>					
Muestra	Esfuerzo Máximo (MPa)	Velocidad de Ensayo (mm/min)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área sección transversal (mm ²)
B-01-F	15.19	2.00	15.00	0.80	12.00
B-02-F	16.23	2.00	15.00	0.80	12.00
B-03-F	16.04	2.00	15.00	0.80	12.00
B-04-F	9.86	2.00	15.00	0.80	12.00
B-05-F	14.89	2.00	15.00	0.80	12.00
B-06-F	54.09	2.00	15.00	0.80	12.00
B-07-F	32.78	2.00	15.00	0.80	12.00
B-08-F	20.06	2.00	15.00	0.80	12.00
B-09-F	21.07	2.00	15.00	0.80	12.00
B-10-F	23.05	2.00	15.00	0.80	12.00
B-11-F	25.04	2.00	15.00	0.80	12.00
B-12-F	51.388	2.00	15.00	0.80	12.00
EQUIPO: - Sistema de prueba de materiales, Marca INSTRON modelo 23-100 - Celda de carga de tensión. Capacidad 1KN					
OBSERVACIONES: -En estos ensayos se calcularon los esfuerzos máximos					




Ing. Elmer Mamani Calcina
Laboratorio de Ensayo de Materiales

Anexo N°4

Curva de Esfuerzo-Desplazamiento de férula Bio-Art



Ing. Elmer Mamani Calcina
Laboratorio de Ensayo de Materiales

Anexo N°5

Prueba de ensayo de flexión de férula Track

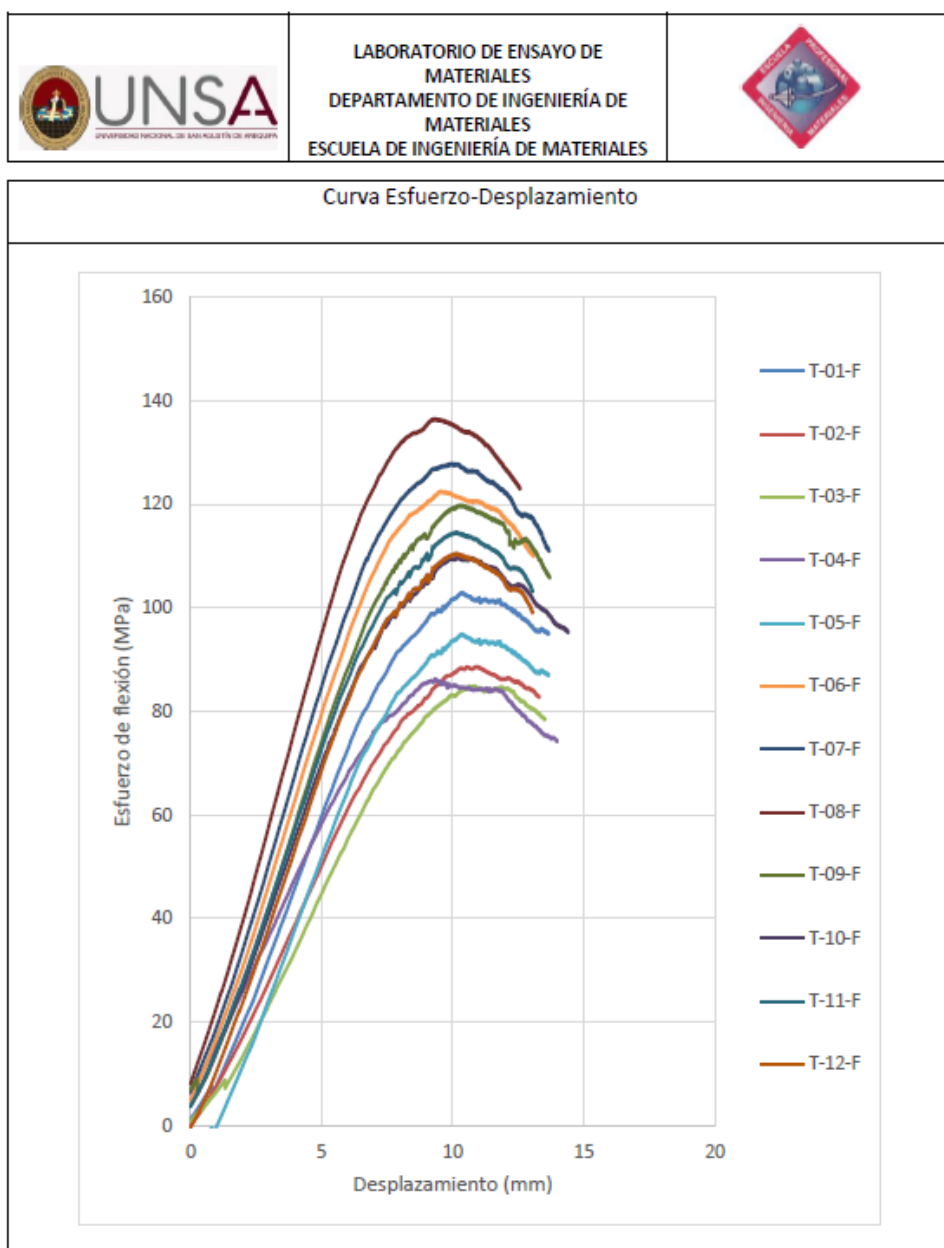
	LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE MATERIALES ESCUELA DE INGENIERÍA DE MATERIALES																																																																															
<u>ENSAYO DE FLEXIÓN</u>																																																																																
SOLICITADO POR : Luis Hernán Calderon Vilca REALIZADO POR : Laboratorio de Ensayo de Materiales-EPIMAT-UNSA MUESTRA : Lámina Track(PET-G) FECHA DE EJECUCIÓN :12/11/2025 FECHA DE EMISIÓN : 14/11/2025																																																																																
<u>RESULTADOS</u>																																																																																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;">Muestra</th> <th style="width: 15%;">Esfuerzo Máximo (MPa)</th> <th style="width: 15%;">Velocidad de Ensayo (mm/min)</th> <th style="width: 10%;">Ancho (mm)</th> <th style="width: 10%;">Espesor (mm)</th> <th style="width: 35%;">Área sección transversal (mm²)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>T-01-F</td><td>102.98</td><td>2.00</td><td>15.00</td><td>0.80</td><td>12.00</td></tr> <tr><td>T-02-F</td><td>88.65</td><td>2.00</td><td>15.00</td><td>0.80</td><td>12.00</td></tr> <tr><td>T-03-F</td><td>84.90</td><td>2.00</td><td>15.00</td><td>0.80</td><td>12.00</td></tr> <tr><td>T-04-F</td><td>86.29</td><td>2.00</td><td>15.00</td><td>0.80</td><td>12.00</td></tr> <tr><td>T-05-F</td><td>94.95</td><td>2.00</td><td>15.00</td><td>0.80</td><td>12.00</td></tr> <tr><td>T-06-F</td><td>122.51</td><td>2.00</td><td>15.00</td><td>0.80</td><td>12.00</td></tr> <tr><td>T-07-F</td><td>127.88</td><td>2.00</td><td>15.00</td><td>0.80</td><td>12.00</td></tr> <tr><td>T-08-F</td><td>136.52</td><td>2.00</td><td>15.00</td><td>0.80</td><td>12.00</td></tr> <tr><td>T-09-F</td><td>119.82</td><td>2.00</td><td>15.00</td><td>0.80</td><td>12.00</td></tr> <tr><td>T-10-F</td><td>109.78</td><td>2.00</td><td>15.00</td><td>0.80</td><td>12.00</td></tr> <tr><td>T-11-F</td><td>114.62</td><td>2.00</td><td>15.00</td><td>0.80</td><td>12.00</td></tr> <tr><td>T-12-F</td><td>109.79</td><td>2.00</td><td>15.00</td><td>0.80</td><td>12.00</td></tr> </tbody> </table>			Muestra	Esfuerzo Máximo (MPa)	Velocidad de Ensayo (mm/min)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área sección transversal (mm ²)	T-01-F	102.98	2.00	15.00	0.80	12.00	T-02-F	88.65	2.00	15.00	0.80	12.00	T-03-F	84.90	2.00	15.00	0.80	12.00	T-04-F	86.29	2.00	15.00	0.80	12.00	T-05-F	94.95	2.00	15.00	0.80	12.00	T-06-F	122.51	2.00	15.00	0.80	12.00	T-07-F	127.88	2.00	15.00	0.80	12.00	T-08-F	136.52	2.00	15.00	0.80	12.00	T-09-F	119.82	2.00	15.00	0.80	12.00	T-10-F	109.78	2.00	15.00	0.80	12.00	T-11-F	114.62	2.00	15.00	0.80	12.00	T-12-F	109.79	2.00	15.00	0.80	12.00
Muestra	Esfuerzo Máximo (MPa)	Velocidad de Ensayo (mm/min)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área sección transversal (mm ²)																																																																											
T-01-F	102.98	2.00	15.00	0.80	12.00																																																																											
T-02-F	88.65	2.00	15.00	0.80	12.00																																																																											
T-03-F	84.90	2.00	15.00	0.80	12.00																																																																											
T-04-F	86.29	2.00	15.00	0.80	12.00																																																																											
T-05-F	94.95	2.00	15.00	0.80	12.00																																																																											
T-06-F	122.51	2.00	15.00	0.80	12.00																																																																											
T-07-F	127.88	2.00	15.00	0.80	12.00																																																																											
T-08-F	136.52	2.00	15.00	0.80	12.00																																																																											
T-09-F	119.82	2.00	15.00	0.80	12.00																																																																											
T-10-F	109.78	2.00	15.00	0.80	12.00																																																																											
T-11-F	114.62	2.00	15.00	0.80	12.00																																																																											
T-12-F	109.79	2.00	15.00	0.80	12.00																																																																											
EQUIPO: - Sistema de prueba de materiales, Marca INSTRON modelo 23-100 - Celda de carga de tensión. Capacidad 1KN																																																																																
OBSERVACIONES: -En estos ensayos se calcularon los esfuerzos máximos																																																																																



Ing. Elmer Mamani Calcina
Laboratorio de Ensayo de Materiales

Anexo N°6

Curva de Esfuerzo-Desplazamiento de férula Track



Ing. Elmer Mamani Calcina
Laboratorio de Ensayo de Materiales

Anexo N°7

Prueba de Dureza Shore de las férulas Essix, Bio-Art y Track

	LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE MATERIALES ESCUELA DE INGENIERÍA DE MATERIALES																																																																																																									
<u>DUREZA SHORE-D</u> SOLICITADO POR : Luis Hernán Calderon Vilca REALIZADO POR : Laboratorio de Ensayo de Materiales-EPIMAT-UNSA MUESTRA : Lámina Bio-Art(PET-G) Lámina Track(PET-G) Lámina Essix(PET-G) FECHA DE EJECUCIÓN :12/11/2025 FECHA DE EMISIÓN : 14/11/2025																																																																																																										
<u>RESULTADOS</u> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Código</th> <th>Marca</th> <th>Lectura 1</th> <th>Lectura 2</th> <th>Lectura 3</th> <th>Lectura 4</th> <th>Lectura 5</th> <th>Promedio</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>E-01-S</td><td>Essix</td><td>71.7</td><td>71</td><td>68.1</td><td>68.3</td><td>67.3</td><td>69.28</td></tr> <tr><td>E-02-S</td><td>Essix</td><td>65.3</td><td>69</td><td>59.6</td><td>68.3</td><td>69.4</td><td>66.32</td></tr> <tr><td>E-03-S</td><td>Essix</td><td>65</td><td>58</td><td>55.6</td><td>62.6</td><td>62.5</td><td>60.74</td></tr> <tr><td>E-04-S</td><td>Essix</td><td>68.9</td><td>70.3</td><td>50.8</td><td>61.9</td><td>68.9</td><td>64.16</td></tr> <tr><td>T-01-S</td><td>Track</td><td>65</td><td>58.8</td><td>66.9</td><td>52.5</td><td>68.1</td><td>62.26</td></tr> <tr><td>T-02-S</td><td>Track</td><td>52</td><td>63.4</td><td>66.8</td><td>69.2</td><td>71.1</td><td>64.5</td></tr> <tr><td>T-03-S</td><td>Track</td><td>58.1</td><td>72.2</td><td>68.2</td><td>67.6</td><td>66.6</td><td>66.54</td></tr> <tr><td>T-04-S</td><td>Track</td><td>64.3</td><td>59.2</td><td>61.4</td><td>65.4</td><td>65.1</td><td>63.08</td></tr> <tr><td>B-01-S</td><td>Bio-Art</td><td>67.2</td><td>55.1</td><td>66.6</td><td>59.4</td><td>60.4</td><td>61.74</td></tr> <tr><td>B-02-S</td><td>Bio-Art</td><td>63.5</td><td>60.4</td><td>67.8</td><td>67.3</td><td>54</td><td>62.6</td></tr> <tr><td>B-03-S</td><td>Bio-Art</td><td>66.2</td><td>65.9</td><td>58.6</td><td>65.1</td><td>59.3</td><td>63.02</td></tr> <tr><td>B-04-S</td><td>Bio-Art</td><td>70.2</td><td>70.7</td><td>63.9</td><td>67.8</td><td>64.1</td><td>67.34</td></tr> </tbody> </table>			Código	Marca	Lectura 1	Lectura 2	Lectura 3	Lectura 4	Lectura 5	Promedio	E-01-S	Essix	71.7	71	68.1	68.3	67.3	69.28	E-02-S	Essix	65.3	69	59.6	68.3	69.4	66.32	E-03-S	Essix	65	58	55.6	62.6	62.5	60.74	E-04-S	Essix	68.9	70.3	50.8	61.9	68.9	64.16	T-01-S	Track	65	58.8	66.9	52.5	68.1	62.26	T-02-S	Track	52	63.4	66.8	69.2	71.1	64.5	T-03-S	Track	58.1	72.2	68.2	67.6	66.6	66.54	T-04-S	Track	64.3	59.2	61.4	65.4	65.1	63.08	B-01-S	Bio-Art	67.2	55.1	66.6	59.4	60.4	61.74	B-02-S	Bio-Art	63.5	60.4	67.8	67.3	54	62.6	B-03-S	Bio-Art	66.2	65.9	58.6	65.1	59.3	63.02	B-04-S	Bio-Art	70.2	70.7	63.9	67.8	64.1	67.34
Código	Marca	Lectura 1	Lectura 2	Lectura 3	Lectura 4	Lectura 5	Promedio																																																																																																			
E-01-S	Essix	71.7	71	68.1	68.3	67.3	69.28																																																																																																			
E-02-S	Essix	65.3	69	59.6	68.3	69.4	66.32																																																																																																			
E-03-S	Essix	65	58	55.6	62.6	62.5	60.74																																																																																																			
E-04-S	Essix	68.9	70.3	50.8	61.9	68.9	64.16																																																																																																			
T-01-S	Track	65	58.8	66.9	52.5	68.1	62.26																																																																																																			
T-02-S	Track	52	63.4	66.8	69.2	71.1	64.5																																																																																																			
T-03-S	Track	58.1	72.2	68.2	67.6	66.6	66.54																																																																																																			
T-04-S	Track	64.3	59.2	61.4	65.4	65.1	63.08																																																																																																			
B-01-S	Bio-Art	67.2	55.1	66.6	59.4	60.4	61.74																																																																																																			
B-02-S	Bio-Art	63.5	60.4	67.8	67.3	54	62.6																																																																																																			
B-03-S	Bio-Art	66.2	65.9	58.6	65.1	59.3	63.02																																																																																																			
B-04-S	Bio-Art	70.2	70.7	63.9	67.8	64.1	67.34																																																																																																			
EQUIPO: - Durómetro Shore-D-ASTM D2240																																																																																																										
OBSERVACIONES: -Se calcularon los valores de la dureza, cinco indentaciones en diferentes lugares de la probeta																																																																																																										



Ing. Elmer Mamani Calcina
Laboratorio de Ensayo de Materiales

Anexo N°8

Prueba de transmitancia de Luz de las férulas Essix, Bio-Art y Track

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS TRANSMITANCIA DE LUZ (LUXÓMETRO)

INVESTIGADOR: Luis Hernán Calderón Vilca

LO (SIN LÁMINA): 940 lux

EQUIPO: Luxómetro digital Victor 1010D

DISTANCIA FUENTE-SENSOR: 25 cm (fija)

FUENTE DE LUZ: Luz blanca LED / Intensidad estable registrada

ENSAYO: transmitancia lumínica (ITR %)

TIEMPO DE ESTABILIZACIÓN: 1 segundo

ESPESOR MÍNIMO DEL MATERIAL: 0.8 mm

FECHA DE EJECUCION: 13/11/2025

NÚMERO DE PUNTOS POR PROBETA: 3 (centro, inferior y superior)

FECHA DE EMISIÓN: 15/11/2025

RESULTADOS

Muestra	L1 Centro (lux)	L1 Inferior (lux)	L1 Superior (lux)	L1 Promedio (lux)	ITR (%)
E-01-T	782	818	821	807	85.85 %
E-02-T	838	867	878	861	91.60 %
E-03-T	785	825	823	811	86.17 %
E-04-T	812	852	847	837	89.04 %
E-05-T	807	842	847	832	88.51 %
E-06-T	815	853	849	839	89.25 %
E-07-T	811	848	846	835	88.83 %
E-08-T	833	871	867	857	91.17 %
E-09-T	835	870	872	859	91.38 %
E-10-T	870	882	849	867	92.23 %
E-11-T	820	834	848	834	88.72 %
E-12-T	842	844	807	831	88.40 %

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS TRANSMITANCIA DE LUZ (LUXÓMETRO)

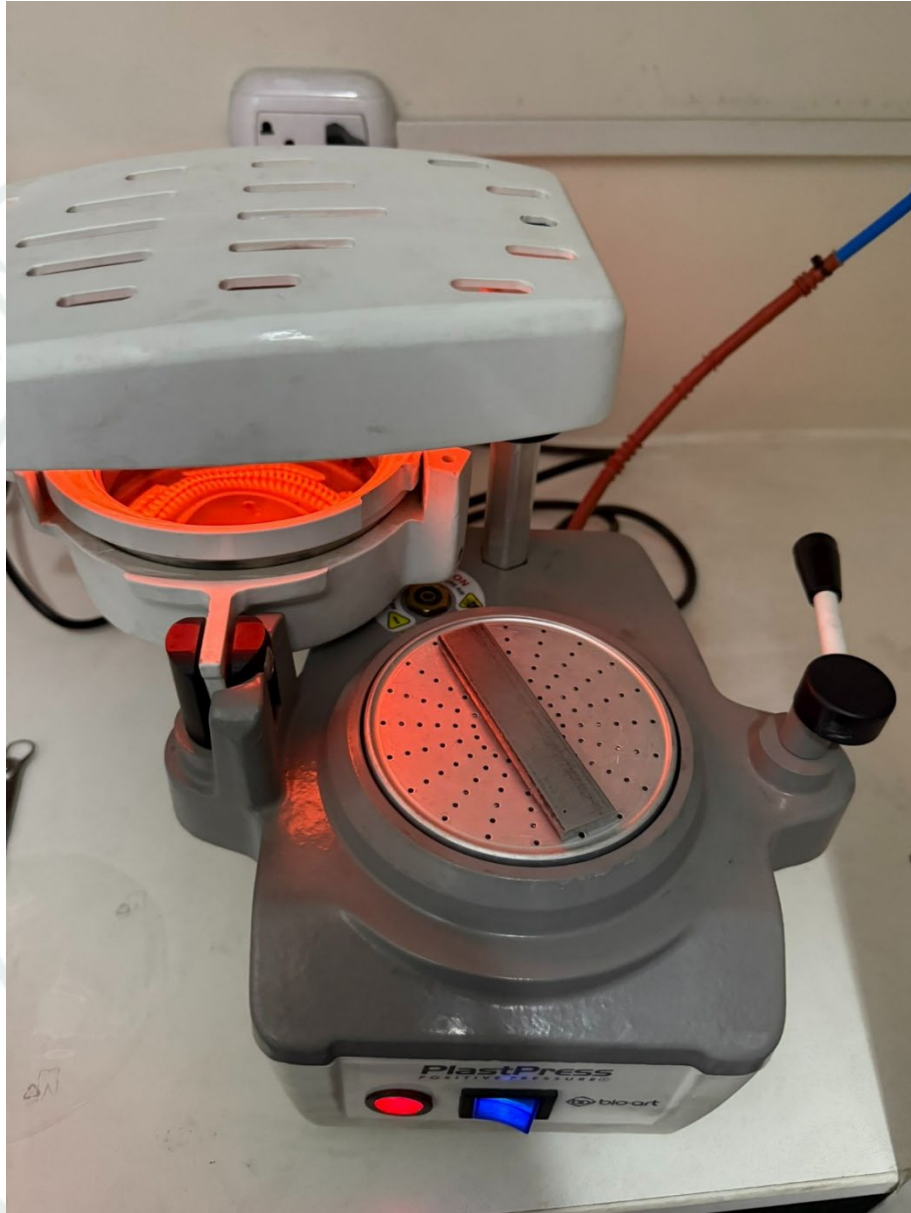


Muestra	L1 Centro (lux)	L1 Inferior (lux)	L1 Superior (lux)	L1 Promedio (lux)	ITR (%)
B-01-T	940	710	690	780	82.98 %
B-02-T	725	745	756	742	78.94 %
B-03-T	738	759	750	749	79.68 %
B-04-T	755	765	775	765	81.38 %
B-05-T	720	760	755	745	79.26 %
B-06-T	830	813	814	819	87.13 %
B-07-T	770	772	825	789	83.94 %
B-08-T	752	768	820	780	82.98 %
B-09-T	736	744	866	782	83.19 %
B-10-T	780	794	790	788	83.83 %
B-11-T	788	793	828	803	85.43 %
B-12-T	775	790	793	786	83.62 %

Muestra	L1 Centro (lux)	L1 Inferior (lux)	L1 Superior (lux)	L1 Promedio (lux)	ITR (%)
T-01-T	811	828	830	823	87.55 %
T-02-T	792	819	819	810	86.17 %
T-03-T	762	769	785	772	82.13 %
T-04-T	825	844	851	840	89.36 %
T-05-T	833	858	859	850	90.43 %
T-06-T	834	854	856	848	90.21 %
T-07-T	820	839	849	836	88.94 %
T-08-T	798	803	820	807	85.85 %
T-09-T	804	817	824	815	86.70 %
T-10-T	837	857	856	850	90.43 %
T-11-T	831	837	849	839	89.25 %
T-12-T	828	841	851	840	89.36 %

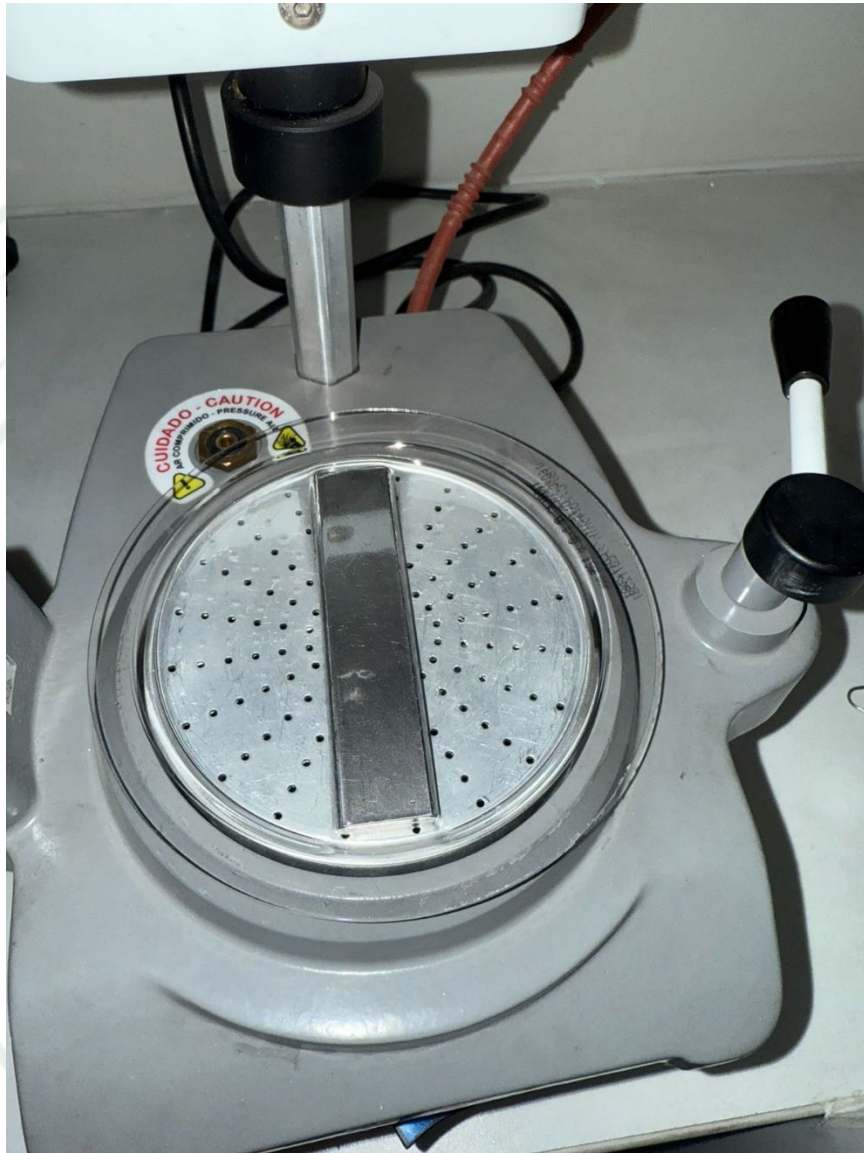
Anexo N°9

Termoconformado de lámina sobre placa metálica rectangular para confección de probeta estandarizada para pruebas de flexion



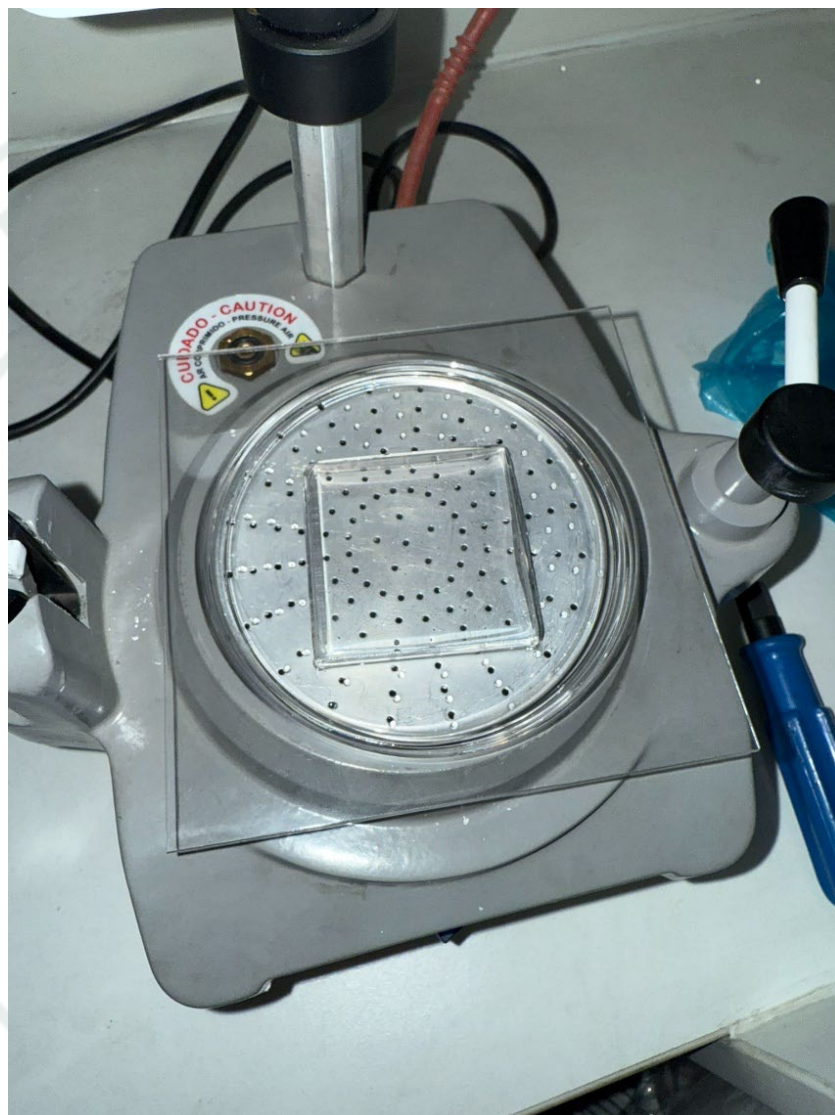
Anexo N°10

Lámina termoformada sobre guía metálica rectangular lista para recorte



Anexo N°11

Lámina termoformada sobre guía metálica cuadrada estandarizada para las pruebas de dureza



Anexo N.º 12

Medición de la probeta termoformada recortada



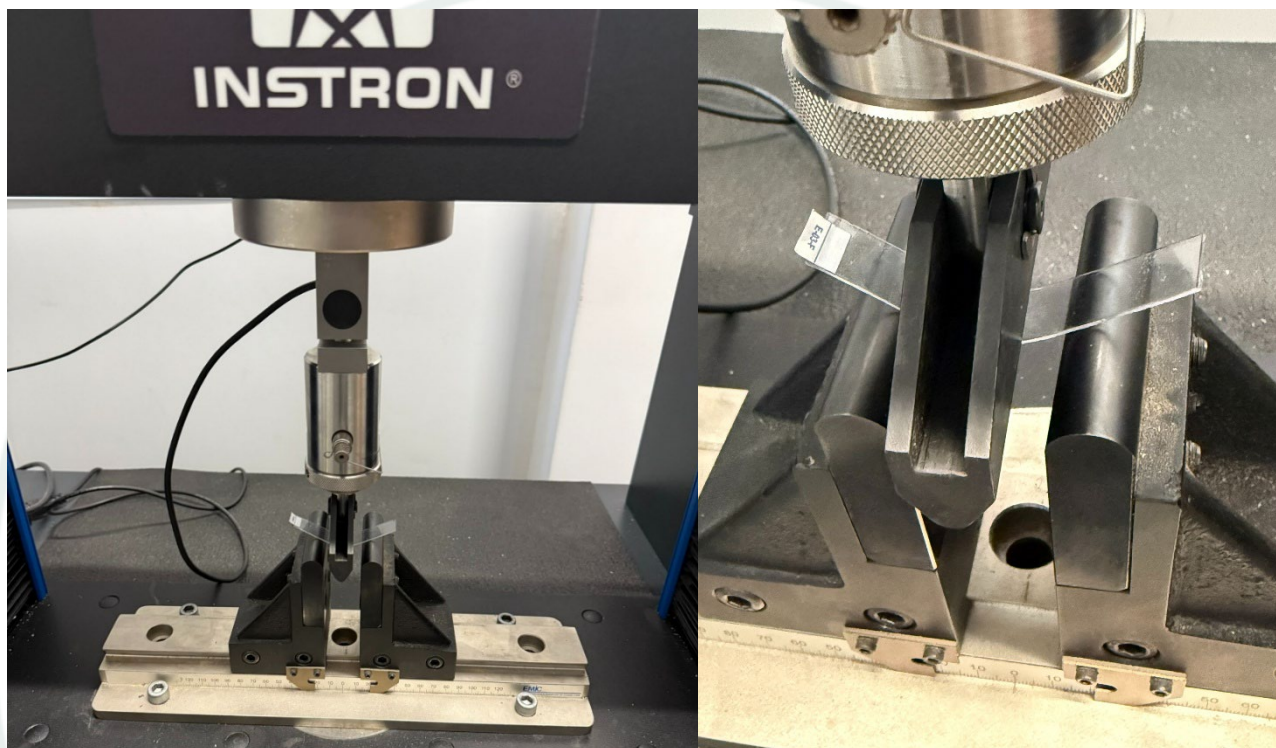
Anexo N.º 13

Probetas estandarizadas rotuladas tras el proceso de termoformado



Anexo N.º 14

Montaje de probetas para ensayo de flexión en máquina universal (Instron®)



Anexo N.º 15

Medición de la dureza superficial (Shore D) de las probetas termoformadas



Anexo N.º 16

Alineación y Medición de la probeta transparente sobre el riel del equipo de transmitancia óptica para medición del ITR%

