

ISU CENTRAL TÉCNICO		INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO CENTRAL TÉCNICO (CON CONDICIÓN DE UNIVERSITARIO)		VERSIÓN: 2.0 EAB: 20/04/2018 URV: 25/01/2023
SUSTANTIVO FORMATO C64-01-FOR-DO31.10	MACROPROCESO: 01 DOCENCIA PROCESO: 03 TITULACIÓN 01 TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR / TITULACIÓN	PERFIL Y ESTUDIO DE PERFIL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO		Página 1 de 14



PERFIL DE PLAN DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

Quito – Ecuador, enero del 2025

PROPUESTA DEL PLAN DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

Tema de Proyecto de Investigación:

Análisis de una férula ortopédica de tobillo mediante escaneo 3D para la rehabilitación en deportistas

Apellidos y nombres del/los estudiantes:

Gonzalez Valarezo Melissa Dayana

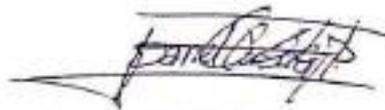
Carrera:

Mecánica Industrial

Fecha de presentación:

31/01/2025

Quito, 31 de febrero del 2025



Firma del Ing. Daniel Casaliglia

1.- Tema de investigación

Análisis de una férula ortopédica de tobillo mediante escaneo 3D para la rehabilitación en deportistas

2.- Problema de investigación

El uso constante del yeso sin ventilación para inmovilizar la zona afectada trae consigo un aumento notable de diversas complicaciones como daño tendinoso muscular y la rigidez articular causadas por el propio accidente o debido al tratamiento (Montoya , 2023). Esto se debe a su diseño y material usado para fabricar el yeso. La existencia de nuevos materiales sirve para sustituir al yeso de Paris, tales como la venda de vidrio saturada con resina de poliuretano y la férula en 3D (Martinez Carrasco, 2002). Las fracturas de tobillo es una de las lesiones más frecuentes que puede sufrir una persona o un deportista y su tratamiento es con yeso. Su función es sostener el hueso roto e inmovilizarlo en su lugar, otra función es prevenir o disminuir las contracturas musculares e inmovilizarlo después de una cirugía. (StandfordMEDICINE, s.f.)

Por ello en los últimos años, la impresión y escáner en 3D es uno de los métodos que los médicos han encontrado para poder fabricar una férula de tobillo con mejoras estéticas y que tengan ventilación (Lu , Liao, & Zeng, 2021). El diseñar una férula tiene como objetivo demostrar su alta potencia en la personalización que posee la fabricación aditiva. Por esto se utiliza la ingeniería inversa la cual se parte desde un modelo en escala del tobillo escaneado en 3D y se finaliza en un diseño que se adapte a la extremidad e inmovilice la articulación dañada (Zapata Martinez , 2018).

2.1.- Definición y diagnóstico del problema de investigación

El uso de otros materiales para imprimir una férula y sustituir la escayola tradicional ayudara a disminuir las complicaciones que se genera en la piel, (Duque, Hernández , Alvarado, & Puentes, 2019) nos dicen que las férulas con ventilación tienen como objetivo solucionar los problemas que se genera en la escayola tradicional como son: hinchazón, ardor, mal olor, entumecimiento entre otros. (Segnini, Vergara , & Provenzano, 2017) nos dicen que para el diseño de la férula en 3D serán enfocados en trabajos de estructuras voronoi, palanes de abeja o la misma combinación de ambas. Las férulas 3D son aplicadas principalmente en la medicina ortopédica, donde la eficacia del tratamiento está relacionada fuertemente con la geometría anatómica de cada paciente (Dal Masó & Cosmi, 2019).

Una férula o AFO (ortesis de pie-tobillo) es un dispositivo medico externo que es colocado desde la pantorrilla hasta el pie que ayuda al paciente a mantener el tobillo en una sola posición. Cuanto más adaptable sea la forma de la férula al cuerpo del paciente, más cómodo y eficaz será el tratamiento (Dal Masó & Cosmi, 2019).

2.2.- Preguntas de investigación

- 1.- ¿Conoce usted el funcionamiento de una impresora 3D?
- 2.- ¿Conoce usted el funcionamiento del escáner 3D?
- 3.- ¿Conoce los beneficios que tiene una férula ortopédica impresa en 3D?

- 4.- ¿Conoce usted si la férula 3D es más liviana que el yeso de fibra de vidrio?
- 5.- ¿Conoce usted si las férulas ortopédicas impresas en 3D son más caras que un yeso normal?
- 6.- ¿Conoce usted las aplicaciones en las que se utiliza la impresora y escáner 3D?
- 7.- ¿Conoce usted los materiales que son utilizado para imprimir en 3D?

3.-Objetivos de la investigación

3.1.- Objetivo General

Investigar el funcionamiento de las férulas o AFO mediante el diseño, material adecuado y su método de fabricación para solventar las fracturas de los deportistas y poder aplicar la tecnología aditiva.

3.2.- Objetivos Específicos

- Investigar el diseño de la férula por medio de artículos científicos, revistas y tesis sobre el tema planteado.
- Diseñar una férula o AFO basado en la norma ISO 8549-1:2020 para un mejor diseño.
- Analizar las propiedades y características que tiene el material para fabricar e imprimir una férula en 3D.
- Investigar los métodos de fabricación por la que se puede obtener una férula en 3D.
- Analizar el costo de producción que puede llegar a tener una férula ortopédica personalizada.

4.- Justificación

La mezcla del almidón y el sulfato de calcio deshidratado, en el momento que se añade agua al sulfato este se cristaliza, lo que trae algunos inconvenientes al usar dichos materiales como: acumulación en exceso de líquidos, picazón o alergia debido al material usado (Martínez Carrasco, 2002).

Por esta razón se ha buscado reemplazar el yeso por una férula en 3D la cual usa materiales con tecnología termoplásticos estandarizados que ofrecen una mejor estabilidad en sus propiedades mecánicas a lo largo del tiempo. Los más usados son ABS, PLA y Nylon (Gamazo García, 2019).

Anualmente en el departamento de trauma de emergencias de los EE. UU. los casos de fracturas son de 179 por 100 000 habitantes, mientras que en China los datos estadísticos no son precisos. Cabe recalcar que esta tasa puede aumentar debido al envejecimiento de la población y la participación de deportes (Lu, Liao, & Zeng, 2021).

Por esta razón el uso de un dispositivo de inmovilización como es la férula se aplica principalmente

para limitar la movilidad completa de la articulación del tobillo en el paciente, encargada de sostener el pie, tobillo y una parte inferior de la pierna con la intención de controlar las deficiencias que presenta una extremidad inferior como: pie caído, dorsiflexión o flexión de planta débil, lesión de ligamentos en el tobillo y ayudar en su recuperación total del hueso (Choo & Chang, 2021).

Existen varios diseños de férulas ya presentados los cuales son morfológicamente similares, por lo tanto, para realizar nuestra férula su diseño será enfocado en diseño de estructuras voronoi, en diseños de panel de abeja o la combinación de ambas (Segnini, Vergara , & Provenzano, 2017).

5.- Estado del Arte

Para la ingeniera Raquel (2022) menciona que "El uso de la tecnología 3D nos permite fabricar órtesis impermeables, lavables, ligeras y cómodas para la recuperación de fracturas"

Según Olmos (2015) explica que "El PLA es un plástico muy utilizado en la impresión 3D (por no decir que es el más empleado en el medio) por sus propiedades, que son muy amigables con todo lo que se te ocurra, es un material resistente y flexible"

Para el escáner y diseño de la férula se deberá seguir varios pasos como:

- 1.- Captura de la información geométrica y dimensional del tobillo y pie manualmente
- 2.- Captura de la información geométrica y dimensional del tobillo y pie mediante escáner 3D: Modo de cuerpo
- 3.- Desarrollo del modelo geométrico de una ortesis de tobillo y pie mediante herramientas CAD
- 4.-Definir el modelo y diseño de la férula
- 5.- Análisis de las propiedades mecánicas del material PLA en SolidWorks con la opción de simulación.
- 6.- Simulación de carga mecánica para plástico PLA (Arízaga & Agosto, 2019).

Cálculo de esfuerzo

Se utilizará la siguiente fórmula para determinar el peso que soportará la férula

$$Fy = m + g$$

Donde

M: masa o peso de la persona

G: gravedad

También se tiene el diagrama de cuerpo libre como se observa en la ilustración 1

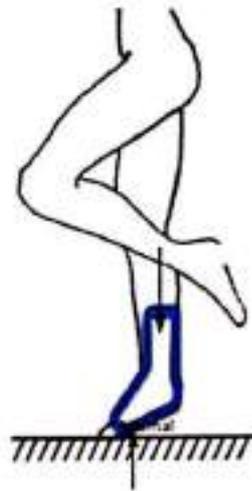


Ilustración 1 Diagrama de cuerpo libre (fuerza)
Fuente: (Arizaga & Agosto, 2019)

Tabla 1
Características del peso y estructura en una persona

Peso ideal para hombre				Peso ideal para mujer			
Altura	Bajo	Medio	Alto	Altura	Bajo	Medio	Alto
1.52 mts	58 kgs	61 kgs	55 kgs	1.42 mts	35 kgs	38 kgs	41 kgs
1.55 mts	60 kgs	63 kgs	66 kgs	1.45 mts	37 kgs	40 kgs	43 kgs
1.57 mts	61 kgs	64 kgs	67 kgs	1.47 mts	39 kgs	42 kgs	44 kgs
1.60 mts	63 kgs	65 kgs	69 kgs	1.50 mts	41 kgs	43 kgs	46 kgs
1.63 mts	64 kgs	67 kgs	70 kgs	1.52 mts	43 kgs	45 kgs	48 kgs
1.65 mts	65 kgs	68 kgs	72 kgs	1.55 mts	44 kgs	47 kgs	50 kgs
1.68 mts	67 kgs	69 kgs	73 kgs	1.57 mts	46 kgs	49 kgs	52 kgs
1.70 mts	68 kgs	71 kgs	74 kgs	1.60 mts	48 kgs	51 kgs	53 kgs
1.73 mts	69 kgs	72 kgs	76 kgs	1.63 mts	50 kgs	53 kgs	55 kgs
1.75 mts	71 kgs	73 kgs	77 kgs	1.65 mts	52 kgs	54 kgs	57 kgs
1.78 mts	72 kgs	75 kgs	78 kgs	1.68 mts	53 kgs	56 kgs	59 kgs
1.80 mts	73 kgs	76 kgs	80 kgs	1.70 mts	55 kgs	58 kgs	61 kgs
1.83 mts	74 kgs	77 kgs	81 kgs	1.73 mts	57 kgs	60 kgs	63 kgs
1.85 mts	76 kgs	79 kgs	82 kgs	1.75 mts	59 kgs	62 kgs	64 kgs

Fuente: (Arizaga & Agosto, 2019)

Como se observa en la tabla 1 tenemos la altura y el peso que un hombre y una mujer han de tener y con este dato es reemplazado en la ecuación

Propiedades del PLA

Tabla 2
Propiedades del PLA y el ABS

	PLA
Resistencia a la tracción	37 MPa
Alargamiento	6%
Módulo de flexión	4 GPa
Densidad	1.3 g/cm ³
Punto de fusión	173°C
Biodegradable	Sí, bajo las condiciones correctas
Temperatura de transición del vidrio	60°C
Productos comunes	Copas, bolsas de plástico, cubiertos

Fuente: (bifab, 2019)

En la tabla 2 se puede observar las propiedades mecánicas que tiene el PLA al ser usado en la

Impresión 3D.

El objetivo de realizar la simulación de fuerza de la férula que será fabricada con el material de plástico PLA es obtener un dato conciso del momento exacto que se puede llegar a fracturar la férula al ser sometida a una fuerza mayor. Este dato se lo obtendrá de la ecuación de peso, del módulo de elasticidad de compresión y de SolidWorks.

6.- Temario Tentativo

- 1.- Resumen
- 2.- Introducción
- 3.- Materiales y métodos
- 4.- Resultados
- 5.- Análisis de resultados
- 6.- Conclusiones
- 7.- Recomendaciones
- 8.- Bibliografía

7.- Diseño de la investigación

7.1.- Tipo de investigación

EN FUNCION A SU PROPOSITO	
Teórica	<input type="checkbox"/>
Aplicada Tecnológica	<input checked="" type="checkbox"/>
Aplicada científica	<input type="checkbox"/>

	NIVEL DE MADUREZ TECNOLÓGICA	ORIENTACIÓN 1	ORIENTACIÓN 2	ORIENTACIÓN 3	ORIENTACIÓN 4
<input type="checkbox"/>	TRL 1: Idea básica. Mínima disponibilidad.	Investigación	Entorno de laboratorio	Pruebas de laboratorio y simulación	Prueba de concepto
<input type="checkbox"/>	TRL 2: Concepto o tecnología formulados.				

<input checked="" type="checkbox"/>	TRL 3: Prueba de concepto.	Desarrollo	Entorno de simulación	Ingeniería a escala 1/10 < Escala < 1	Prototipo y demostración
<input type="checkbox"/>	TRL 4: Componentes validados en laboratorio.				
<input type="checkbox"/>	TRL 5: Componentes validados en entorno relevante.	Innovación	Entorno real	Escala real = 1	Producto comercializable y certificado
<input checked="" type="checkbox"/>	TRL 6: Tecnología validada en entorno relevante.				
<input type="checkbox"/>	TRL 7: Tecnología validada en entorno real				
<input type="checkbox"/>	TRL 8: Tecnología validada y certificada en entorno real.	Despliegue			
<input type="checkbox"/>	TRL 9: Tecnología disponible en entorno real. Máxima disponibilidad.				

POR SU NIVEL DE PROFUNDIDAD		POR LOS MEDIOS PARA OBTENER LOS DATOS	
Exploratoria	<input type="checkbox"/>	Documental	<input type="checkbox"/>
Descriptiva	<input checked="" type="checkbox"/>	De campo	<input checked="" type="checkbox"/>
Explicativa	<input type="checkbox"/>	Laboratorio	<input type="checkbox"/>
Correlacional	<input type="checkbox"/>		
POR LA NATURALEZA DE LOS DATOS		SEGÚN EL TIPO DE INFERENCIA	
Cualitativa	<input type="checkbox"/>	Deductivo	<input type="checkbox"/>
Cuantitativa	<input checked="" type="checkbox"/>	Hipotético	<input type="checkbox"/>
POR EL GRADO DE MANIPULACION DE VARIABLES		Inductivo	<input type="checkbox"/>
Experimental	<input type="checkbox"/>	Analítico	<input checked="" type="checkbox"/>
Cuasiexperimental	<input checked="" type="checkbox"/>	Sintético	<input type="checkbox"/>
No experimental	<input type="checkbox"/>	Estadístico	<input type="checkbox"/>

7.2.- Métodos de investigación

Métodos mixtos de investigación

La información que se obtendrá en esta investigación será de carácter cualitativo y cuantitativo, ya que se evaluará el estilo de vida del deportista o la persona afectada, además de cada cuanto ocurre estos problemas anatómicos y/o accidentes.

7.3.- Técnicas de recolección de la información

En esta investigación se usarán varios métodos de recolección de información con la finalidad de obtener datos precisos y confiables para la elaboración de la fórmula de tobillo y la aplicación en el estilo de vida de las personas afectadas.

Verbales: Se buscará y entrevistara a grupos de personas que practiquen deporte dentro del ISU Central Técnico, con la finalidad de dar con la persona que ha sufrido una lesión grave en el tobillo.

Se considera como técnicas verbales a:

- Entrevistas.
- Encuestas.
- Cuestionarios.

8.- Marco administrativo

8.1.- Cronograma

N°	TIEMPO ACTIVIDADES	JULIO				AGOSTO				SEPTIEMBRE				OCTUBRE				NOVIEMBRE				DICIEMBRE			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
		1	Búsqueda de información de tipos de fracturas que enfrentan los deportistas en los deportes que practican																						
2	Encuesta y selección del paciente en grupos de estudiantes del ISU Central Técnico																								
3	Escaneo y toma de medidas del tobillo del paciente																								
4	Recopilación de datos (Tipos de férulas, deportes y fracturas)																								
5	Investigación sobre la estructura del tobillo y consecuencias de las fracturas en deportistas																								
6	Reconstrucción del tobillo escaneado																								
7	Diseño 3D de la férula de tobillo																								
8	Impresión de la férula de tobillo mediante impresión 3D																								

8.3.- Fuentes de información

Bibliografía

- Arizaga, C., & Augusto, X. (2019). Desarrollo de órtesis (férula) de tobillo y pie obtenido mediante técnica de escaneo, análisis CAD/CAE y prototipado rápido en 3D. *ESPE*, 31-75.
- bitfab. (19 de julio de 2019). *PLA vs ABS. La comparativa definitiva 2020*. Obtenido de bitfab: <https://bitfab.io/es/blog/pla-vs-abs/>
- Choo, Y., & Chang, M. (13 de agosto de 2021). *Tipos de uso común y desarrollo reciente de la ortesis de tobillo y pie: una revisión narrativa*. Obtenido de National Library of Medicine: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8392067/>
- Dal Masó, A., & Cosmí, F. (21 de mayo de 2019). *Órtesis de tobillo y pie impresa en 3D: un método de diseño*. Obtenido de ScienceDirect: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214785319304808>
- Duque, O., Hernández, J., Alvarado, D., & Puentes, A. (2019). DISEÑO DE UN SISTEMA DE PERFILACIÓN DE FÉRULAS MEDIANTE EL ESCANEO 3D DE MUÑECA, BRAZO Y TOBILLO PARA FINES DE IMPRESIÓN 3D. *Informetric@ - Serie Ingeniería, Básicas y Agrícolas*, 2-3.
- Gamazo García, J. V. (2019). Desarrollo de férulas mediante impresión 3D: comportamiento mecánico del material y prototipado. *Universidad de Valladolid*, 71.
- Lu, P., Liao, Z., & Zeng, Q. (24 de enero de 2021). *Yesos ortopédicos personalizados impresos en tres dimensiones para el tratamiento de fracturas de tobillo estables: análisis de elementos finitos y un estudio piloto*. Obtenido de ACS OMEGA: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsomega.0c06031#>
- Martínez Carrasco. (2002). Técnicas de inmovilización: vendajes, férulas y yesos. *Formación Médica Continuada en Atención Primaria*, 345-342.
- Montoya, A. A. (12 de febrero de 2023). *Biblioteca Central Pedro Zulen*. Obtenido de Cirugía ortopédica y traumatológica: https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtuallibros/medicina/cirugia/tomo_ii/compli_fractura.htm
- Olmos, A. (13 de marzo de 2015). *Filamento PLA y ABS*. Obtenido de MarkerMex: <http://makermex.blogspot.com/2015/03/filamentos-makermex.html>
- Segnini, J., Vergara, M., & Provenzano, S. (2017). PROSPECTIVA PARA EL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UNA ÓRTEISIS IMPRESA EN 3D. *ResearchGate*, 163-164.
- Serrano, R. (28 de octubre de 2022). *La tecnología de impresión 3D pone fin a las aparatosas escayolas*. Obtenido de OMPI: La tecnología de impresión 3D pone fin a las aparatosas escayolas
- StandfordMEDICINE. (s.f.). *Tipos de yeso e instrucciones de mantenimiento*. Recuperado el 12 de febrero de 2023, de StandfordMEDICINE: <https://www.stanfordchildrens.org/es/topic/default?id=cast-types-and-maintenance-instructions-90-P05861>
- Zapata Martínez, R. (2018). Desarrollo de férulas articulares personalizadas como apoyo al diseño, implementación y validación de la plataforma biomédica colaborativa UBORA. *Archivo Digital UPM*, 61-67.