

INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE CALKINÍ

**“SIMPLIFICACIÓN Y ANÁLISIS DEL PROCESO DE
FABRICACIÓN DE FÉRULAS CON HERRAMIENTAS
DE LA INDUSTRIA 4.0”**

TESIS PARA TITULACIÓN INTEGRAL

INGENIERÍA INDUSTRIAL

**EGRESADO:
DUILIO IVAR UC AC**

**DIRECTOR Y CO-DIRECTOR:
MTRA. ELSY VERÓNICA MARTÍN CALDERÓN
DRA. WENDY ARGENTINA DE JESÚS CETINA LÓPEZ**

Calkiní, Campeche, México 2025

HOJA DE GUARDA

CONTRA PORTADA

CARTA DE NO INCONVENIENCIA

**Educación**
Secretaría de Educación Pública

**TECNOLÓGICO**
NACIONAL DE MÉXICO





Instituto Tecnológico Superior de Calkiní
Subdirección de Planeación y Desarrollo

Instituto Tecnológico Superior de Calkiní
Departamento de Administración y
Apoyo al Estudiante

Calkiní, Campeche 06/03/2025
P/03/25/608
INGENIERÍA INDUSTRIAL

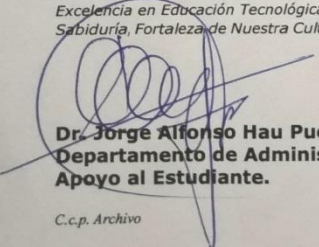
CONSTANCIA DE NO INCONVENIENCIA

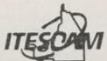
MODALIDAD: TESIS

C. DUILIO IVAR UC AC 7155
PASANTE DE LA CARRERA DE
INGENIERÍA INDUSTRIAL.
PRESENTE

Con relación a lo establecido en el Reglamento de Estudios de Licenciatura, capítulo VII, fracción I, vigente en este Instituto, y una vez emitido el fallo favorable por el director MTRA. ELSY VERÓNICA MARTÍN CALDERÓN, y el co-director DRA. WENDY ARGENTINA DE JESÚS CETINA LÓPEZ, respectivamente, este Instituto consta de no tener inconveniencia para la realización del acto protocolario de titulación integral de su trabajo profesional titulado: **"SIMPLIFICACIÓN Y ANÁLISIS DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE FÉRULAS CON HERRAMIENTAS DE LA INDUSTRIA 4.0"**.

ATENTAMENTE
Excelencia en Educación Tecnológica®
Sabiduría, Fortaleza de Nuestra Cultura®


Dr. Jorge Alfonso Hau Puc.
Departamento de Administración y
Apoyo al Estudiante.
C.c.p. Archivo


INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR
DE CALKINÍ
"DEPARTAMENTO DE ADMINISTRACIÓN
ESCOLAR Y APOYO A
ESTUDIANTES"
CLAVE: 04MSU0013P
CALKINÍ, CAMPECHE, MÉXICO

**2025**
Año de
La Mujer
Indígena

Av. Ah Canul S/N por Carretera Federal, Calkiní, Campeche.
C.P. 24900 Tel. 996-8134870,
e-mail: se_dcalkini@tecnm.mx | itescam.edu.mx



AGRADECIMIENTOS

A las personas encargadas de asesorarme durante este proyecto, les quiero brindar mi más sincero agradecimiento a la Mtra. Elsy Verónica Martín Calderón y a la Dra. Wendy Argentina de Jesús Cetina López por su conocimiento, su guía, su paciencia y dedicación a lo largo del desarrollo de este proyecto.

De igual manera agradezco al Instituto Tecnológico Superior de Calkiní por brindarme las oportunidades tanto académicas como profesionales necesarias para el desarrollo de este proyecto.

A mi familia por su compañía, su confianza y por servirme como soporte en los momentos difíciles, a mis amigos por su compañerismo y apoyo, y a Dios por brindarme las fuerzas de resiliencia necesarias durante todo este proceso, doy infinitas gracias.

DEDICATORIA

Este documento se lo dedico a mis asesores como resultado del trabajo conjunto, a mis padres por ser mi motivación día a día y a Dios por permitirme crecer y progresar en los ámbitos académico y profesional que formaron parte de este trabajo.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	5
DEDICATORIA	5
ÍNDICE.....	6
ÍNDICE DE TABLAS	7
CAPITULO I. INTRODUCCIÓN.....	8
1.1. RESUMEN.....	8
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	8
1.3. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	8
1.4. OBJETIVOS.....	8
1.4.1. Objetivo general	8
1.4.2. Objetivo específico	9
1.5. JUSTIFICACIÓN	9
1.6. ALCANCES	13
1.7. LIMITACIONES.....	14
CAPITULO II. MARCO CONCEPTUAL	14
2.1.1. Salud ocupacional en trabajadores manuales y sus lesiones por actividades repetitivas 14	
2.1.2. La industria 4.0 y el uso de tecnologías de fabricación aditiva en el sector salud 17	
2.1.3. El papel de la sostenibilidad en el diseño de férulas ergonómicas	19
2.2. MARCO REFERENCIAL.....	22
2.2.1. Salud ocupacional entre los artesanos del Camino Real	22
2.2.2. Uso tradicional de férulas entre los artesanos del Camino Real.....	23
CAPITULO III. PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS.....	24
3.1.1. Diagrama de Gantt	24
3.1.2. Descripción detallada de las actividades.....	24
CAPITULO IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE DATOS	25
CAPITULOS V. CONCLUSIONES	31
5.1. CONSLUSIONES.....	31
5.2. RECOMENDACIONES	31
5.3. EXPERIENCIA PROFESIONAL ADQUIRIDA	32
5.4 COMPETENCIAS DESARROLLADAS	32
BIBLIOGRAFÍA	33

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Diagrama de Gantt	24
Tabla 2. Procedimiento del método manual.....	27
Tabla 3. Procedimiento del método propuesto.	29
Tabla 4. Análisis comparativo de procedimientos manual y propuesto.	30
Tabla 5. Comparativo por métricas de los procedimientos manual y propuesto.....	30

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. RESUMEN

El presente trabajo titulado "Simplificación y análisis del proceso de fabricación de férulas con herramientas de la Industria 4.0" desarrolla el análisis comparativo de dos métodos de fabricación de férulas para el tratamiento del dedo en gatillo, un padecimiento común entre los artesanos del Camino Real en Yucatán, México.

Este padecimiento, se presenta como resultado del esfuerzo manual repetitivo, el cual limita la movilidad y afecta la productividad de quienes dependen de sus manos para trabajar. A través de la implementación de tecnologías de impresión 3D, se pretende ofrecer una alternativa más accesible, rápida y personalizada en la fabricación de férulas, superando las limitaciones de los métodos tradicionales.

Los resultados de este trabajo pretenden contribuir a mejorar las posibilidades de desarrollo de férulas que podrían ayudar a la salud ocupacional de los artesanos, impulsando la adopción de tecnologías de la Industria 4.0 en áreas rurales y generando nuevas posibles oportunidades de capacitación y empleo en la región.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los métodos tradicionales para fabricar férulas en el tratamiento del dedo en gatillo son costosos, limitados en personalización y, en muchos casos, inaccesibles para artesanos en comunidades rurales. Las férulas producidas por métodos tradicionales requieren materiales específicos y procesos laboriosos, lo cual incrementa su tiempo de fabricación además que no presentan la atención ergonómica necesaria para atención.

Aunque la impresión 3D y otras herramientas de la Industria 4.0 tienen un enorme potencial para la personalización y eficiencia en la producción de férulas, la falta de capacitación en el uso y manejo de estas tecnologías limita su implementación.

1.3. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

Como base del desarrollo de este trabajo se presentan las siguientes interrogantes: ¿es posible brindar accesibilidad a una atención personalizada para la elaboración de férulas en áreas rurales del Camino Real?, ¿son grandes las diferencias que existen entre los tiempos de producción de férulas tradicionales comparado con el de férulas impresas en 3D?, ¿qué es lo que se requiere para volver accesible el uso de tecnologías de la industria 4.0 en comunidades rurales del Camino Real?

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Analizar el proceso de fabricación de férulas para el tratamiento del dedo en gatillo, mediante la comparación entre el método de fabricación manual y la implementación de tecnologías de la Industria 4.0, específicamente la impresión 3D, con el fin de mejorar la eficiencia y la calidad del producto final.

1.4.2. Objetivo específico

- Investigar sobre las afecciones del dedo en gatillo, así como los métodos de tratamiento actuales y las necesidades específicas de las artesanas de Camino Real, Campeche.
- Elaborar cuadros de flujo de las operaciones actuales en la fabricación manual de férulas, identificando cada etapa del proceso y sus características.
- Elaborar cuadros de flujo de las operaciones de la fabricación de férulas utilizando el método propuesto o impresión 3D, identificando cada etapa del proceso y sus características.
- Comparar el proceso de fabricación manual con el proceso de impresión 3D en términos de tiempo, calidad, y uniformidad del producto final.

1.5. JUSTIFICACIÓN

La región de Camino Real en Campeche alberga varias comunidades del norte del estado de Campeche, en esta región los procesos de fabricación que predominan son aquellos relacionados con la elaboración de artesanías los cuales abarcan la producción de bordados, sombreros, enseres de barro y otros productos de producción artesanal; debido a la naturaleza repetitiva del trabajo manual que se realiza en la zona, las artesanas, son propensas a padecer afecciones como el dedo en gatillo.

Para AAOS (AAOS, 2019), el dedo en gatillo (también conocido como tenosinovitis estenosante) es una condición en la que uno de los dedos de la mano se queda bloqueado en una posición doblada y, al enderezarlo, se mueve de manera brusca, como si fuera el gatillo de un arma. Este padecimiento ocurre cuando el tendón que controla el movimiento del dedo se inflama o irrita, lo que provoca que su paso a través de la vaina que lo rodea se vea obstaculizado.

Síntomas principales:

- Dolor en la base del dedo afectado, especialmente al moverlo.
- Rigidez al intentar mover el dedo después de períodos de inactividad (como al despertar).
- Bloqueo o chasquido al enderezar o doblar el dedo, con la sensación de que se "atasca".
- En casos más avanzados, el dedo puede quedar completamente bloqueado en una posición doblada.

Esta condición es común entre personas que realizan movimientos repetitivos con las manos, como artesanos, trabajadores manuales o músicos. Si no se trata, el dedo en gatillo puede afectar la movilidad y causar molestias significativas, limitando la capacidad para realizar actividades cotidianas.

Tratamiento sin cirugía

Por lo general, el tratamiento inicial para el dedo en gatillo es sin cirugía, AAOS, nos menciona los siguientes:

- Descanso. Dejar descansar la mano y evitar las actividades que empeoran la afección puede ser suficiente para resolver el problema.
- Ferulización. Puede ser útil usar una férula durante la noche para mantener el dedo o el pulgar afectado en una posición recta mientras duerme.
- Ejercicios. Los ejercicios suaves de estiramiento pueden ayudar a disminuir la rigidez y mejorar el rango de movimiento en el dedo afectado.
- Medicamentos. Los medicamentos de venta libre, como el paracetamol y los fármacos antiinflamatorios no esteroideos (AINE), pueden ayudar a aliviar el dolor y la inflamación.
- Inyecciones de esteroides. El corticoesteroide (como la cortisona) es un agente antiinflamatorio que se puede inyectar en la vaina del tendón, en la base del dedo en gatillo. Una inyección de esteroides puede evitar que el dedo quede en la posición de apretar un gatillo durante un período que puede ser de un día o de varias semanas. Si los síntomas no mejoran con el transcurso del tiempo, se puede aplicar una segunda inyección. Si dos inyecciones no resuelven el problema, se puede considerar realizar una cirugía.

(AAOS, 2019)

Esta condición limita la capacidad productiva de la persona que la padece y afecta su calidad de vida, para ello es conveniente realizar este estudio ya que así se presenta una manera para la integración de un procedimiento que implica la fabricación de una férula que permita mejorar de manera considerable esta afección.

Este estudio es altamente conveniente porque aborda un problema de salud específico, el dedo en gatillo, que afecta a los artesanos de la región del Camino Real en la península de Yucatán. La condición limita la capacidad laboral de las personas, lo que impacta su productividad y calidad de vida.

Tradicionalmente, el tratamiento de esta afección va desde las sesiones de fisioterapia, hasta las cirugías en algunos casos, sin embargo, un método no invasivo para este tipo de padecimiento es la ocupación de férulas fabricadas manualmente con un material termoplástico que es fácil de adquirir en la zona, lo que puede resultar en productos con variabilidad en calidad, ajuste y eficacia.

El presente proyecto busca introducir tecnologías de la Industria 4.0, como la impresión 3D, en la fabricación de férulas, con el objetivo de mejorar la precisión, uniformidad y adaptabilidad de estos dispositivos. La investigación permitirá comparar dos métodos de fabricación de férulas, el tradicional y uno innovador basado en tecnologías de la Industria 4.0, como la impresión 3D.

Según Dynapro3D (Dynapro3D, 2021), la era de la digitalización también ha revolucionado la impresión 3D en la industria 4.0. Su papel es clave en este sector donde imperan los cambios tecnológicos, la inteligencia artificial, el internet de las cosas y los algoritmos. La fabricación aditiva ocupa un lugar muy especial y está avanzando a pasos agigantados para transformar el

modelo tradicional. Con una impresora 3D es posible producir un gran número de piezas y componentes para ciertos sectores como laboratorios dentales, realización de prótesis o la industria naval y del automóvil.

Para Dynapro3D, Entre las principales ventajas que nos ofrece esta técnica destacamos las siguientes:

- Rapidez. La impresión de un diseño en 3D en un mismo día reduce el proceso de desarrollo.
- Ahorrar costes. La técnica de fabricación aditiva permite crear piezas con un menor coste.
- Menor riesgo. Se puede verificar un diseño antes de invertir en una máquina de moldeado.

(Dynapro3D, 2021)

La conveniencia del estudio radica en su enfoque hacia el uso de tecnologías emergentes para mejorar la accesibilidad, personalización y eficiencia en el tratamiento de este padecimiento, adaptándose a las necesidades locales.

De esta manera se podrá tener una mejora en el tratamiento médico ya que, comparar los métodos tradicionales y modernos, se evaluará cuál proporciona mejor comodidad, funcionalidad y efectividad terapéutica para los pacientes con dedo en gatillo.

Además, la accesibilidad y eficiencia que implica el hecho de proporcionar férulas de alta calidad y personalizadas a través de la impresión 3D, hace que el tratamiento sea más accesible y rápido para los artesanos locales.

La evaluación comparativa de procesos de fabricación permitirá determinar un parámetro para el ahorro de costos y recursos, esto debido a que espera que el método basado en impresión 3D pueda reducir los costos de producción y distribución en comparación con las técnicas artesanales tradicionales.

En el entorno del camino real el impulso a la adopción de tecnologías de la Industria 4.0 mediante este estudio puede servir como ejemplo de cómo la tecnología puede integrarse en un contexto rural y artesanal, impulsando el desarrollo tecnológico en zonas marginadas.

Esto no solo beneficiará a las artesanas al proporcionarles un producto de mayor calidad y comodidad, sino que también contribuirá al desarrollo económico de la región al incorporar innovación tecnológica en un contexto tradicional.

Si bien los artesanos del Camino Real se presentan como los beneficiarios directos al recibir férulas más accesibles, personalizadas y cómodas para tratar el dedo en gatillo, mejorando su capacidad para trabajar sin dolor también el sector de la salud local como lo son los profesionales de la salud podrán acceder a una nueva herramienta terapéutica más eficaz, simplificando el tratamiento.

La potencialización de un nuevo método innovador que permita un ahorro tanto en tiempo como en recursos proporcionará también un beneficio a la economía local esto al capacitar a personas de la comunidad en tecnologías de impresión 3D, debido a que se generarán nuevas oportunidades de empleo y se fortalecerá la economía local mediante el desarrollo de nuevas habilidades.

Además de las personas artesanas, personal médico y el potencial impacto económico que se tendrá con este proyecto los análisis también permitirán que investigadores y diseñadores de productos se base de los resultados del estudio como base para futuras investigaciones sobre la aplicación de la Industria 4.0 en contextos rurales o de bajos recursos.

Dentro de las aplicaciones posibles para el desarrollo analítico de este proyecto implica el hecho de que, si los resultados confirman la superioridad del método de impresión 3D, este podría implementarse en el sistema de salud local como un estándar para el tratamiento del dedo en gatillo y otras afecciones ortopédicas. También podría extenderse a otras regiones rurales y poblaciones vulnerables.

Por el contrario, si los resultados no muestran mejoras significativas respecto al método tradicional, aún aportarán conocimiento valioso sobre los desafíos y limitaciones del uso de tecnologías avanzadas en áreas rurales, permitiendo ajustar futuros proyectos y soluciones. En cualquier caso, los resultados ofrecerán un marco de referencia para futuras investigaciones sobre la integración de tecnologías modernas en contextos de bajos recursos.

Considerando el impacto directo que presenta el desarrollo de un método eficaz para la producción de férulas uno de los conceptos importantes que serán atacados sería el de la salud ocupacional ya que, al mejorar el acceso a férulas personalizadas, se podría reducir la discapacidad temporal entre los artesanos que sufren de dedo en gatillo.

SINCI (SINCI, 2023), menciona que, existe una gran variedad de métodos y recomendaciones de la seguridad industrial 4.0 que pretenden minimizar, o de ser posible eliminar distintos riesgos asociados a los nuevos métodos de trabajo y la gestión inteligente del mismo.

“Así mismo es de suma importancia cuidar la salud y el bienestar del personal que se encarga del desarrollo de estas tecnologías, principalmente en los factores psicosociales y ergonómicos, ya que estarán largas horas frente a un computador con un gran desgaste mental y físico creando las tecnologías del mañana que harán nuestra vida más productiva” (SINCI, 2023).

Si bien un método tradicional podría presentarse de momento como un proceso más accesible a comunidades rurales, el entorno globalizado el mundo actualmente presente de manera inminente la accesibilidad a tecnología médica debido a que los métodos de fabricación basados en impresión 3D pueden ofrecer férulas de bajo costo y fácil distribución, resolviendo la barrera económica y geográfica que enfrentan muchas personas en zonas rurales.

Para la industria y específicamente la interesada en la innovación para distintos métodos de distintos campos uno de los principales problemas a atacar en procesos de producción radica en el tiempo de producción y costos el presente análisis establecerá un criterio que busca presentar un método que disminuirá el tiempo necesario para producir férulas, lo que mejorará la eficiencia en el tratamiento.

Un punto crucial por atender comprende a la expansión del uso de impresión 3D, esto debido a que podría investigarse a futuro focalizado en otros casos, cómo la impresión 3D puede ser aplicada a otros dispositivos médicos personalizados, como prótesis o soportes ortopédicos para otras partes del cuerpo.

Además del análisis del procedimiento y la eficiencia de la aplicación de distintos métodos, para el caso tanto tradicional como el del uso de impresión 3D la optimización de materiales se podría proponer dentro de la investigación recomendaciones sobre nuevos materiales biocompatibles o sostenibles para la fabricación de férulas.

“La manufactura aditiva 4.0 surge como una nueva técnica de producción industrial que construye objetos en 3D agregando capa sobre capa, independientemente del material que se utilice. En campos como la salud pueden marcar un antes y después. La principal diferencia con una técnica de fabricación tradicional industrial es la reducción de los procesos intermedios. Esto da lugar a que las piezas se obtengan con mayor velocidad (hasta un 90 % más rápido). Además, no se generan residuos porque se produce de manera respetuosa con el medio ambiente” (Dynapro3D, 2021).

A grandes rasgos y como un impacto posiblemente aplicado a futuro la integración de la industria 4.0 a estos campos podría ser el punto de partida para la integración de la telemedicina y escaneo remoto permitiendo así desarrollar proyectos que integren tecnologías de escaneo remoto para facilitar la toma de medidas de pacientes en áreas rurales, sin necesidad de visitas médicas frecuentes.

El enfoque basado en la Industria 4.0 dentro del entorno industrial de manera global es un claro ejemplo de cómo se pueden lograr mejores formas de resolver distintas circunstancias complejas en campos como la medicina por lo cual el atender el problema del dedo en gatillo en artesanos, proponiendo soluciones más eficientes y accesibles que las técnicas tradicionales puede seguir manteniendo el impacto de la industria 4.0 a zonas que anteriormente no se consideraban para el análisis.

Se espera que al utilizar impresión 3D, se podrán desarrollar férulas que ofrezcan mejor ajuste, comodidad y funcionalidad, acelerando el proceso de rehabilitación. Además, esta metodología puede ser replicada y adaptada para resolver otros problemas de salud similares que enfrentan las comunidades rurales.

1.6. ALCANCES

El presente trabajo tiene por alcance realizar una investigación de antecedentes sobre el padecimiento del dedo en gatillo, sus causas, tratamientos tradicionales y tecnologías emergentes para la fabricación de férulas. Esto incluirá la recopilación de estudios científicos, publicaciones especializadas y análisis de casos previos en el uso de impresión 3D para dispositivos médicos.

Además de que se busca alcanzar una comparación cuantitativa y cualitativa de metodologías tradicionales y de la industria 4.0, considerando factores como la comodidad de uso, accesibilidad económica, tiempos de producción y ajuste de cada férula a las necesidades individuales del usuario. Incluyendo un informe con conclusiones claras sobre cuál método

ofrece mejores resultados en la fabricación de férulas para el dedo en gatillo en el contexto de la comunidad de artesanos.

1.7. LIMITACIONES

Una de las principales limitaciones radica en que cada paciente podría experimentar distintos niveles de efectividad y comodidad con cada férula, por lo que esto podría ser difícil de generalizar en cuestión de los resultados y por lo tanto determinar cuál método es más eficaz de manera general.

Relacionado con lo anterior, la duración del proyecto puede no permitir una evaluación completa de los posibles efectos a largo plazo de las férulas impresas en la salud y el desempeño de los artesanos, por lo cual el presente trabajo se ve limitando al análisis comparativo en términos de tiempo de producción bajo cada metodología y los recursos necesarios.

CAPITULO II. MARCO CONCEPTUAL

2.1.1. Salud ocupacional en trabajadores manuales y sus lesiones por actividades repetitivas

Para Greenberg & Vearrier (Greenberg & Vearrier, 2022), Muchas ocupaciones implican movimientos repetitivos, que suponen para los trabajadores un mayor riesgo de lesiones por movimientos repetitivos. Las lesiones por movimiento repetitivo son la causa de muchas lesiones relacionadas con el trabajo. Entre las tareas que requieren movimientos repetitivos se cuentan escribir en una computadora, escanear comestibles, clavar clavos, trabajar en una línea de ensamblado y usar un martillo neumático.

Con base en la descripción de que movimientos repetitivos pueden generar lesiones en las zonas que más acción física presentan no es de extrañarse el hecho de que la mano puede ser una de las grandes zonas afectadas especialmente por parte de los dedos en los trabajos como lo son hoy en día el trabajo de oficina con el uso de teclados y mouses para computadoras, además de que igualmente varios de los procesos artesanales requieren de un esfuerzo manual para desarrollarse.

Con respecto a los tratamientos para las lesiones derivadas por movimientos repetitivos en el trabajo Greenberg & Vearrier (Greenberg & Vearrier, 2022) mencionan lo siguiente; El tratamiento de la lesión por movimiento repetitivo relacionada con el trabajo consiste en reposo de la zona afectada. Si las tareas normales de trabajo no se pueden realizar sin el movimiento repetitivo que causó la lesión, es posible que los trabajadores necesiten ser asignados a un puesto de transición (también conocido como puesto de trabajo liviano o modificado).

Dependiendo del tipo y la gravedad de la lesión, el puesto de trabajo transitorio puede durar semanas o meses. Si las tareas que incluyen el movimiento repetitivo se reanudan demasiado pronto, la lesión puede reaparecer. Luego, el trabajador debe volver al puesto de transición, aumentando así el tiempo total empleado en el puesto de transición. Los trabajadores deben evitar actividades fuera del trabajo que empeoren sus lesiones (Greenberg & Vearrier, 2022).

Lo anterior describe el hecho de que una lesión se generada por movimientos repetitivos requiere necesariamente de reposo y en caso de presentar se dolores que para el paciente

generen afectaciones mayores a su movilidad es importante la parte de medicación, sin embargo, no hay que dejar de lado la relevancia que tiene el reposo y en su caso el auxilio por parte de otros instrumentos médicos como lo pueden ser las férulas.

Según Greenberg & Vearrier (Greenberg & Vearrier, 2022); La fisioterapia puede ser beneficiosa para los trabajadores con lesiones por movimientos repetitivos y puede acelerar la recuperación y ayudar a recuperar la funcionalidad. El uso de una férula o un corsé puede aliviar los síntomas de la compresión de un nervio. Si los síntomas son graves o persistentes, los trabajadores son remitidos a un traumatólogo para recibir inyecciones de corticoesteroides y, a veces, cirugía.

La mayoría de las lesiones por movimientos repetitivos relacionadas con el trabajo se resuelven con reposo durante un periodo de varias semanas (Greenberg & Vearrier, 2022).

Entonces se puede determinar que el uso de férulas acompañados de fisioterapia es útil para el tratamiento de lesiones en tendones o músculos en los que el origen puede ser a causa de movimientos repetitivos, en el caso particular de los dedos de la mano la afección conocida como “dedo de gatillo” puede atenderse también por estos métodos.

El médico David R. Steinberg (Steinberg, 2024), describe lo siguiente con respecto al dedo de gatillo; Se desconoce la causa del dedo en gatillo. El dedo en gatillo es un trastorno frecuente entre personas con artritis reumatoide o diabetes. El uso repetitivo de las manos (como puede ocurrir al utilizar unas pesadas tijeras de podar) aumenta la propensión a sufrir dicho trastorno.

Se hace mención a una actividad como lo puede ser el uso de tijeras para podar, pero como anteriormente ha sido mencionado, en la actualidad el uso de una computadora también genera de manera potencial lesiones de este tipo y también de manera más específica las actividades relacionadas a la producción de artesanías en la península de Yucatán como lo puede ser la costura de punto de cruz, el tejido de hamacas o el tejido de sombreros de jipi son potenciales actividades que pueden desencadenar el padecimiento del dedo de gatillo.

En el dedo en gatillo (tenosinovitis del flexor digital), un dedo de la mano queda bloqueado en una posición flexionada. El dedo se bloquea cuando uno de los tendones que lo flexionan se inflama y se hincha produciendo, por lo general, un área apreciable, redonda y elevada (nódulo) en la palma de la mano que puede ser sensible al tacto. La inflamación y la hinchazón pueden causar dolor en la palma de la mano y en la base del dedo, especialmente cuando el dedo está flexionado y extendido (Steinberg, 2024).

Además, el médico David R. (Steinberg, 2024) Steinberg agrega lo siguiente; Habitualmente, el tendón se mueve con suavidad hacia dentro y hacia fuera de la vaina que lo envuelve al estirar y doblar el dedo. En el dedo en gatillo, el tendón inflamado puede desplazarse fuera de su vaina al doblar el dedo.

Sin embargo, cuando el tendón está muy hinchado, no puede volver con facilidad al interior de la vaina cuando el dedo intenta estirarse, de modo que el dedo se bloquea. Para poder estirar el dedo, una persona debe tirar del dedo para forzar a la zona hinchada a reintroducirse en la vaina, dando lugar a una sensación repentina de liberación y chasquido similar a la que se produce al apretar un gatillo (Steinberg, 2024).

Cuando se trata de un tema que se relaciona mucho con actividades que cualquier persona podría realizar o al menos en un rango de edades entre los 20 y 50 años, es importante identificar también que existen otras maneras en las que las personas pueden sufrir de padecer dedo de gatillo por lo cual es necesario tener una visión más general de este padecimiento.

Sharon Theimer (Theimer, 2023), presenta una descripción general relacionada con el dedo de gatillo, mencionando lo siguiente; Las manos son maravillas mecánicas con poleas que, en forma de tendones, se flexionan y extienden para abrir y cerrar el puño, y estirar y doblar los dedos. Cada tendón está envuelto en una vaina que lo mantiene en su lugar. A veces, el tendón puede irritarse e hincharse, lo que impide que se deslice con suavidad debajo de la vaina. Cuando eso sucede, el dedo o el pulgar pueden atascarse y quedar en una posición doblada o recta, una afección que se denomina dedo en gatillo.

Por lo general, las personas de 45 años o más y aquellas que tienen diabetes o artritis reumatoide pueden tener más posibilidades de padecer el dedo en gatillo. Es poco frecuente en niños. Generalmente, la vaina del tendón se irrita debido al exceso de trabajo o a una lesión, por lo que las personas que realizan movimientos repetitivos oprimen mucho o levantan cargas pesadas en su trabajo pueden ser propensas a padecer esta afección. Puede suceder en cualquier momento y es más común de lo que las personas piensan (Theimer, 2023).

Comprender el rango de edades permite determinar quiénes pueden desarrollar el padecer dedo de gatillo, sin embargo, un punto también importante a resaltar serían las formas de tratar de manera particular este padecimiento.

Según Sharon Theimer (Theimer, 2023), Si se tiene síntomas leves, como un bulto pequeño y doloroso en la base de un dedo o el pulgar del lado de la palma de la mano, pero puede estirar o doblar el dedo sin que se trabe, tome un medicamento antiinflamatorio de venta libre, como ibuprofeno, todos los días durante dos semanas. Si el dedo o pulgar se traba, puede aplicar una presión suave para forzarlo a estirarse o doblarse.

Si el dedo o pulgar se traba, no puede forzarlo a estirarse o doblarse y siente que se atasca o hace un chasquido, el próximo nivel de tratamiento es una inyección con esteroides para calmar la irritación y la hinchazón. La inyección se administra en la palma de la mano en una clínica. Se utiliza un spray frío para adormecer el área (Theimer, 2023).

Además de lo anterior, Sharon Theimer agrega lo siguiente: “Una inyección puede aliviar el problema, pero puede volver a ocurrir. Si esto sucede, se puede administrar otra inyección después de tres meses. Un tratamiento no quirúrgico menos común es la ferulización. Por la noche, se utiliza una férula para mantener derechos el dedo o el pulgar afectados” (Theimer, 2023).

Con esto, podemos asegurar que el desarrollo de este proyecto con relación a la investigación sobre el proceso de fabricación de férulas se encuentra relacionado con la atención al padecimiento de dedo de gatillo, además de que se presenta como algo que puede afectar en gran medida a los artesanos en la península de Yucatán que aplican actividades con los dedos al momento de desarrollar sus artesanías, el tener una comparativa entre dos métodos de

producción de férulas permitirá sugerir una línea base para el seguimiento en atención del dedo de gatillo en la región.

2.1.2. La industria 4.0 y el uso de tecnologías de fabricación aditiva en el sector salud

Para el desarrollo de elementos que actualmente se utilizan en varias industrias, actualmente se hace uso de herramientas de la llamada industria 4.0, derivado de esta 4ta revolución industrial se encuentra el área de la fabricación aditiva y esta va directamente relacionada a la fabricación de elementos como lo pueden ser las férulas, por lo cual es importante comprender más sobre este entorno.

Lorena Ramírez (Ramírez, 2023) nos menciona lo siguiente, una de las bases de la llamada cuarta revolución industrial, o industria 4.0 es la fabricación aditiva. Esta tecnología, permite la fabricación de piezas industriales de forma más rápida y sostenible convirtiendo un modelo digital en un objeto tridimensional.

La fabricación aditiva, también conocida como fabricación por adición, es un conjunto de tecnologías que permiten la construcción de objetos 3D de forma secuencial en un proceso de adición de capas de material (plástico, metal, yeso). A través de la creación de un diseño por ordenador o un software de modelado (CAD) se diseña una guía de impresión que es la que la máquina usa de referencia para realizar el modelo capa a capa (Ramírez, 2023).

Lo que permite la fabricación aditiva es el uso de tecnologías en software que nos permiten desde la edición una perspectiva de lo que puede generarse en la vida real, el tener una representación preliminar permite tener esa previsualización en la que se pueden hacer correcciones, además, la herramienta que se utilice para la construcción de los objetos en 3D, hará mediante una secuencia óptima dicha impresión por lo cual también es importante comprender dichas herramientas.

Según Lorena Ramírez (Ramírez, 2023), una de las tecnologías que incluye la fabricación aditiva es la conocida impresión 3D, con la que no debe ser confundida. Si bien tienen funcionamiento similar, la impresión 3D tiene más limitaciones de cantidad de producción y de tamaño y por tanto, es usada para piezas puntuales. La fabricación aditiva por su parte es de mayor utilidad en procesos de construcción de materiales o biomateriales empresariales que requieran una cantidad de volumen considerable.

La impresión 3D hace parte de las diferentes tecnologías que participan en la fabricación aditiva. A continuación, se mencionan las más comunes clasificadas en el tipo de material sobre el que se va a trabajar.

Fabricación aditiva en plástico

- Modelado por deposición fundida (FDM)
- Sinterización por estereolitografía (SLA)
- Procesamiento de luz digital (DLP)
- Sinterización selectiva por láser (SLS)

Fabricación aditiva en metal

- Sinterización directa por láser de metales (DMLS)
- Fusión por haz de electrones (EBM)
- Binder Jetting
- Fusión selectiva con láser (SML)

(Ramírez, 2023)

Con lo anterior, es posible ver la amplia gama de posibilidades que se presentan gracias a la fabricación aditiva dentro de la impresión 3D, por lo que no es de extrañar que existan varios campos en los que es posible aplicar dicha herramienta para agilizar procesos de producción, que con ayuda de softwares auxiliares es posible generar modelos particulares que cumplan con especificaciones requeridas en cada uno de los casos en lo que se requiera de aplicar, como en el caso del campo de la medicina.

Para Lorena Ramírez (Ramírez, 2023) menciona lo siguiente con respecto al impacto de la fabricación aditiva en el campo de la medicina; gracias a la personalización que ofrece la fabricación aditiva, el impacto que ha tenido en esta industria ha sido fenomenal. Se observa una tendencia creciente en la incorporación de impresoras 3D en hospitales para ayudar a satisfacer las necesidades de sus pacientes, por ejemplo, mediante la fabricación aditiva de prótesis, modelos dentales, modelos previos a la cirugía a partir de tomografías computarizadas o la creación de órganos impresos para practicar.

Omar E. López B., director general de la Asociación Mexicana de Manufactura Aditiva y 3D, menciona que, “la industria de fabricación de dispositivos médicos ha sido beneficiada por las tecnologías de manufactura aditiva, prácticamente desde su concepción. La manufactura aditiva ha revolucionado la forma en la que los dispositivos médicos son manufacturados, personalizados y utilizados. También ha abierto nuevas posibilidades para el desarrollo e investigación del sector médico, así como del cuidado del paciente” (López B., 2023).

De esta manera se muestran los beneficios de la fabricación aditiva, esencialmente ligado desde sus inicios con uno de los campos más importantes dentro del área de la investigación como lo es la medicina además de presentarse como parte de visualizaciones más precisas también es posible integrar las acciones de herramientas como las impresoras 3D para potencializar aún más el tratamiento con los pacientes.

Según Omar E. López B., “uno de los impactos más significativos de la manufactura aditiva en la industria médica ha sido la posibilidad de fabricar dispositivos médicos personalizados. Tradicionalmente, los dispositivos médicos son producidos en masa, lo cual significa que no son diseñados ni manufacturados de acuerdo con las necesidades específicas del paciente y de la condición por tratar” (López B., 2023).

Además de todo lo anterior la fabricación aditiva en sí, presenta también otras muchas más ventajas, Lorena Ramírez describe las siguientes:

- Sostenibilidad: La fabricación aditiva usa únicamente los materiales necesarios. Esto es una gran ventaja ya que no se crean desperdicios y se reduce la compra de materias primas innecesarias.

- Integración de IoT: Implementar tecnologías como la fabricación aditiva hace que exista un trabajo continuo entre dispositivos, máquinas y humanos haciendo que la empresa migre hacia la digitalización.
- Eficiencia: La fabricación aditiva ayuda a optimizar el tiempo de producción hasta en un 90%. De esta forma se trabaja de forma más ágil y se reducen los costes por cada pieza.
- Piezas más ligeras: Al incorporar estructuras orgánicas y usar biomateriales en los diseños, el peso de las piezas se reduce de forma sustancial sin perder la fuerza. Esto además tiene como consecuencia un ahorro energético ya que, a menor peso, menos cantidad de energía gastada por la máquina.
- Reducción de costes: El hecho de poder fabricar piezas de forma digital repercute en la compra de materiales y de almacenaje permitiendo la reducción del stock. Además, facilita la producción local evitando los gastos de proveedores externos y transporte.
- Mejoras en el diseño: La posibilidad de crear cualquier forma geométrica habilita la opción de diseñar piezas más eficaces a nivel funcional. Además, permite una personalización mayor, dando la opción a los fabricantes de crear diferentes tipos de modelo de un producto.

(Ramírez, 2023)

Otra rama de la industria médica fuertemente beneficiada por las tecnologías de manufactura aditiva es el área de ortopedia. Las nuevas tecnologías y materiales disponibles en el mercado han logrado que la producción de implantes y prótesis personalizadas sea una realidad, y que el producto sea implantado o se ajuste de forma muy precisa al cuerpo del paciente. Esto ha mejorado la funcionalidad de tales dispositivos y reducido significativamente las reincidencias y la necesidad de más cirugías (López B., 2023).

Por otra parte, la Revista Metales & Máquinas (Metales & Máquinas, 2024) hace mención sobre los siguientes avances en materia de férulas apoyadas de la fabricación aditiva describiendo lo siguiente, los estudiantes de la Universidad de Ciencias Aplicadas de Trier están desarrollando una plataforma compacta que mide los dedos. A través del programa YES (Young Engineers Support), igus les apoya proporcionándoles guías lineales mini de forma gratuita.

La revista también menciona que, “están desarrollando un sistema que permite a hospitales, consultas médicas y tiendas de suministros médicos imprimir férulas personalizadas directamente in situ mediante una impresora 3D, sin largos tiempos de espera. La solución consiste en una plataforma de medición con elementos deslizantes que miden la altura, anchura, longitud y ángulo de los dedos, de manera similar a un medidor de longitud de pie en una zapatería. A continuación, el software de diseño asistido por ordenador utiliza los datos de medición para adaptar de manera personalizada el modelo 3D de una férula, que posteriormente se imprime” (Metales & Máquinas, 2024).

2.1.3. El papel de la sostenibilidad en el diseño de férulas ergonómicas

Actualmente en el mundo se presenta en gran medida la situación en la que los materiales entran en evaluación para saber si son compatibles o no con el medio ambiente, todo a raíz del

cambio climático y el potencial impacto de los materiales no biodegradables, como también lo puede ser el desperdicio en merma de algunos productos.

Relacionado a lo anterior la empresa SICNOVA (Sicnova, 2024), proveedora de filamentos para impresión 3D sostenibles menciona lo siguiente, a diferencia de los métodos tradicionales de fabricación, que eliminan material para crear la forma deseada (sustracción), la impresión 3D funciona de manera aditiva. Esto significa que se deposita material capa por capa, utilizando solo la cantidad exacta necesaria para crear la pieza.

Esta característica fundamental de la impresión 3D se traduce en una drástica reducción de residuos en comparación con los métodos tradicionales. Se estima que la impresión 3D puede reducir el desperdicio de material hasta en un 90%. Por ejemplo, en la fabricación de componentes metálicos mediante fresado, se puede desperdiciar hasta el 90% de material, mientras que con la impresión 3D, este desperdicio es casi inexistente (Sicnova, 2024).

La fabricación aditiva está impulsando una transición hacia prácticas más sostenibles en la fabricación dentro de las industrias. Al reducir los residuos, optimizar el uso de materiales, y fomentar la producción localizada y personalizada, esta tecnología no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también contribuye a un futuro más verde y sostenible.

- Industria aeroespacial: Las piezas impresas en 3D para aviones son más ligeras y eficientes, lo que significa un menor consumo de combustible y una reducción de residuos, tanto en la fabricación como en la operación.
- Médica: La capacidad de imprimir prótesis y dispositivos médicos personalizados mejora la calidad de vida de los pacientes y reduce el desperdicio de materiales comparado con los métodos tradicionales de fabricación en masa.
- Automoción: La impresión 3D permite a los fabricantes de automóviles crear prototipos rápidos y producir piezas específicas bajo demanda, reduciendo los residuos y mejorando la eficiencia de la producción.

(Sicnova, 2024)

A medida que la tecnología de impresión 3D continúa evolucionando, se espera que su papel en la reducción de residuos de fabricación sea aún más importante. La investigación y el desarrollo en materiales sostenibles, la optimización de procesos y la implementación de modelos de negocio circulares serán claves para aprovechar el máximo potencial de la impresión 3D en este ámbito.

La industria de la impresión 3D tiene como principales retos: disminuir desperdicios de la manufactura sustractiva tradicional, producir piezas más ligeras logrando reducir la energía necesaria para su manipulación y transporte, logrando así un ahorro considerable de combustible por embarque, todo esto se ve reflejado también en una disminución considerable de costos en el ciclo de vida de un producto.

Para Brandon Quintana (Quintana, 2021), en el marco tecnológico contemporáneo, donde cada vez se hace más plausible la necesidad de métodos de manufactura menos contaminantes, donde se reduzca significativamente el desperdicio producido a lo largo de los procesos de desarrollo, y al mismo tiempo que se minimice el gasto energético derivado del proceso de

manufactura tradicional; la impresión 3D representa una respuesta ad hoc para garantizar un ciclo de desarrollo flexible, rentable, moderno y en el que se logre disminuir el impacto ambiental industrial.

“Encabezando la lista de materiales biodegradables, encontramos al Ácido Poli Láctico, mejor conocido como PLA. Este material es ampliamente usado en la impresión 3D y representa uno de los mejores ejemplos de la gama de materiales amigables con el medio ambiente con los que nos permite trabajar la manufactura aditiva, este material es utilizado por la tecnología de Deposición de Filamento Fundido (FDM)” (Quintana, 2021).

Menciona Brando Quintana (Quintana, 2021), lo siguiente; Es un polímero o bioplástico que emula las características del Tereftalato de Polietileno (PET) el cual es ampliamente utilizado en la producción de envases.

El PLA cuenta con la propiedad extra de ser biodegradable bajo ciertas condiciones: se puede degradar a temperatura de 60 grados centígrados en agua o en óxido de carbono, lo cual lo convierte en una opción biodegradable que se puede producir con diferentes cultivos vegetales, eliminando la dependencia de elementos de origen petroquímico.

“Sus materiales de base se obtienen a partir de almidón de maíz o de yuca, mandioca o de caña de azúcar, entre muchas otras especies vegetales” (Quintana, 2021).

Conforme las tecnologías de plásticos avancen, el PLA desplazará poco a poco a los plásticos convencionales e incluso surgirán más opciones con las que se reemplazarán a los plásticos tradicionales por materiales que impacten de menor manera al medio ambiente.

Dentro de todo el espectro de la sostenibilidad también es importante integrar la parte ergonómica que en la actualidad se presenta como un requisito tanto para la evaluación en diagnóstico como para el desarrollo en sí de herramientas y/o terapias que ayuden a combatir las afecciones que se presentan en los tendones o músculos del cuerpo especialmente de la mano derivadas por movimientos repetitivos relacionados muchas veces con el trabajo.

Relacionado con lo anterior Matt Jeffs (Jeffs, 2023) menciona que; conocer las lesiones ergonómicas y cómo prevenirlas es vital para mantener su salud y productividad en el lugar de trabajo. Las lesiones ergonómicas son aquellas que afectan el sistema musculoesquelético y son causadas por un diseño deficiente en el lugar de trabajo o postura deficientes y movimientos repetitivos.

Las 10 lesiones ergonómicas más comunes en el lugar de trabajo

1. Síndrome del túnel carpiano (STC)
2. Tendinitis
3. Dolor de espalda baja
4. Dolor de cuello
5. Dolor de hombro
6. Tensión ocular
7. Lesión por esfuerzo repetitivo (LER)
8. Codo de tenista
9. Dedo en gatillo

10. Tenosinovitis de De Quervain

(Jeffer, 2023)

Relacionado con el dedo de gatillo se describe como sigue: “El dedo en gatillo es un padecimiento en el que un dedo se queda bloqueado en una posición doblada y suele estar causado por movimientos de agarre repetitivos” (Jeffer, 2023).

Para prevenir el dedo en gatillo, se pueden adoptar las siguientes medidas:

- Evitar movimientos de agarre repetitivos, como sujetar un bolígrafo o usar herramientas manuales por mucho tiempo.
- Usar equipos de apoyo, como guantes o soportes, para sujetar el dedo afectado.
- Hacer pausas regulares para descansar y recuperarse.
- Estirar los dedos con regularidad a lo largo del día.
- Usar una técnica adecuada al hacer cualquier tarea repetitiva que involucre las manos.
- Pueden producirse lesiones por mantener posturas incómodas o una presión perjudicial para el cuerpo por mucho tiempo. Para minimizar el riesgo de lesiones, se aconseja elegir herramientas manuales adecuadas tanto para la tarea que se va a realizar como para el tamaño y la forma de la mano.
- Las herramientas utilizadas en tareas que requieren potencia suelen necesitar mayor fuerza, mientras que las que se usan para precisión o detalles requieren menos fuerza.

(Jeffer, 2023)

Además de todo lo anterior con respecto a las razones o falta de cuidados ergonómicos que desencadenan que se presente el padecimiento de Dedo de Gatillo, una de las medidas ergonómicas (fuera de la cirugía) que se recomiendan para tratar esta afección la menciona AAOS (AAOS, 2019), como sigue: “Ferulización. Puede ser útil usar una férula durante la noche para mantener el dedo o el pulgar afectado en una posición recta mientras duerme”.

2.2. MARCO REFERENCIAL

2.2.1. Salud ocupacional entre los artesanos del Camino Real

El presente trabajo titulado, "Simplificación y análisis del proceso de fabricación de férulas con herramientas de la Industria 4.0" surge de la necesidad de abordar problemas de salud ocupacional entre los artesanos del Camino Real, en la península de Yucatán, México, esto es debido a sus actividades las cuales son repetitivas y de alta demanda manual por lo que presentan una prevalencia significativa de dedo en gatillo o tenosinovitis estenosante.

El dedo de gatillo limita considerablemente la capacidad de trabajo de los artesanos y, en casos avanzados, puede llevar a la pérdida temporal de funcionalidad en el dedo afectado.

Aunque existen soluciones tradicionales para tratar el dedo en gatillo, como férulas hechas de materiales básicos y producidas manualmente, estas opciones suelen carecer de la precisión y comodidad necesarias, además de que requieren habilidades específicas para su creación.

Bajo este contexto, la aplicación de tecnologías de la Industria 4.0 (principalmente la impresión 3D) representa una oportunidad significativa para mejorar la calidad de las férulas, optimizar su proceso de fabricación estableciendo un parámetro de estandarización ergonómica y personalización, y, en consecuencia, contribuir a la salud y productividad de los artesanos.

Como la tenosinovitis estenosante es una condición que afecta a los tendones flexores de los dedos, esto es por la repetición constante de ciertos movimientos y la carga física sostenida sobre las articulaciones de la mano son factores de riesgo importantes para este padecimiento, ocasionando así que estos se bloqueen o "enganchen" al intentar moverlos, provocando dolor y limitación de movimiento.

Artesanos, trabajadores de la construcción, músicos y otras personas que dependen del uso intensivo de sus manos suelen desarrollar este problema, que, en ausencia de un tratamiento adecuado, puede requerir soluciones más complejas o incluso intervenciones quirúrgicas.

2.2.2. Uso tradicional de férulas entre los artesanos del Camino Real

Los dispositivos ortopédicos como las férulas se pueden utilizar en los dedos de las manos debido a que ayudan a inmovilizar y reposicionar los dedos, permitiendo que los tendones se recuperen de la inflamación y el estrés, reduciendo el dolor y evitando el bloqueo del dedo. Tradicionalmente, estas férulas se elaboran con materiales como madera, metal o yeso, por lo que implica una fabricación laboriosa, limitada en personalización ergonómica y muchas veces incómoda para el usuario.

En el caso específico de los artesanos del Camino Real, los recursos limitados del área en cuestiones tecnológicas y las dificultades en el acceso a servicios médicos especializados hacen que este tipo de férulas para dedos como lo son las tradicionales no siempre sean una solución efectiva.

Por otro lado, la Industria 4.0 y las tecnologías asociadas a esta, como la impresión 3D, han abierto nuevas posibilidades en el diseño y fabricación de dispositivos médicos personalizados bajo medidas ergonómicas proporcionadas por la industria médica. La impresión 3D permite la creación de férulas adaptadas a las características anatómicas específicas de cada paciente, garantizando un ajuste perfecto, mayor comodidad y un soporte adecuado.

Esto representa una mejora significativa frente a las férulas tradicionales de materiales de la región, al reducir los tiempos de fabricación, y el desperdicio de materiales, lo cual es especialmente relevante en regiones con recursos limitados. Además, estas tecnologías como lo son la impresión 3D permiten que se desarrollen centros de impresión en comunidades locales, lo que facilita el acceso a dispositivos ortopédicos de calidad sin necesidad de trasladarse grandes distancias hasta las ciudades más cercanas.

En la península de Yucatán, donde el Camino Real representa una conexión de varias comunidades rurales de artesanos, la incorporación de herramientas de la Industria 4.0 en el ámbito de la salud no solo representa un avance en el tratamiento del dedo en gatillo, sino también una oportunidad de capacitación y empleo.

La posibilidad de capacitar a personas de la comunidad en el uso de la impresión 3D podría crear una cadena de valor local que permita la fabricación de férulas a bajo costo con el apoyo de

personas de la comunidad y con una alta calidad, generando a su vez beneficios económicos y sociales para la región. Este proyecto, por lo tanto, no solo busca proponer procesos que representen una mejora comparativa en materia de salud ocupacional y productividad de los artesanos afectados, sino también construir una base para la implementación de tecnologías avanzadas en áreas rurales y de bajos recursos.

CAPITULO III. PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS

3.1.1. Diagrama de Gantt

A continuación, se presenta el diagrama de Gantt correspondiente al cronograma de actividades:

Actividad/Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1.1 Recolección de información															
1.2 Revisión bibliográfica															
2.1 Mapeo del proceso actual															
2.2 Análisis del proceso actual o método manual															
3.1 Mapeo del proceso propuesto															
3.2 Análisis del proceso propuesto															
4.1 Análisis comparativo															
4.2 Determinación de ventajas y desventajas															

Tabla 1. Diagrama de Gantt

3.1.2. Descripción detallada de las actividades

1. Investigación Previa.

1.1. Recolección de Información: Investigar sobre las afecciones del dedo en gatillo, así como los métodos de tratamiento actuales y las necesidades específicas de las artesanas de Camino Real, Campeche.

1.2. Revisión Bibliográfica: Estudio de la literatura sobre la fabricación manual de férulas y las tecnologías de la Industria 4.0, especialmente la impresión 3D.

2. Documentación del método manual.

2.1. Mapeo del Proceso Actual: Elaborar diagramas de flujo de las operaciones actuales en la fabricación manual de férulas, identificando cada etapa del proceso y sus características.

2.2. Análisis del proceso: Recopilar datos sobre tiempos de producción, recursos utilizados y variabilidad del producto final.

3. Documentación del método propuesto.

3.1. Mapeo del Proceso Propuesto: Elaborar diagramas de flujo de las operaciones de la fabricación de férulas utilizando el método propuesto o impresión 3D, identificando cada etapa del proceso y sus características.

3.2. Análisis del proceso: Recopilar datos sobre tiempos de producción, recursos utilizados y variabilidad del producto final del método propuesto.

4. Comparación de Procesos.

4.1. Análisis Comparativo: Comparar el proceso de fabricación manual con el proceso de impresión 3D en términos de tiempo, costo, calidad, y uniformidad del producto final.

4.2. Determinar las ventajas y desventajas de la ocupación de ambos métodos.

CAPITULO IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE DATOS

A continuación, se presentan las tablas con los datos por método evaluado:

MÉTODO MANUAL (USO DE YESO)			
ETAPA	DESCRIPCIÓN	DURACIÓN	RECURSOS
1. Evaluación inicial del paciente	Se realiza una observación del dedo afectado, identificando las necesidades específicas del paciente (tamaño, movilidad, posición).	10-15 minutos	Escala visual de dolor, medición manual.
2. Preparación del material de yeso	a) Selección del yeso adecuado. b) Mezclado del yeso con agua en proporciones específicas para alcanzar la consistencia ideal. c) Vaciado de la mezcla en moldes o	15-20 minutos.	Yeso en polvo, agua, recipiente para mezcla, espátula o agitador.

	preparación para modelado manual.		
3. Moldeado manual de la férula	a) Aplicación del yeso húmedo en el área afectada del paciente o en un molde base. b) Modelado manual para ajustar la forma a las dimensiones y necesidades del dedo. c) Inclusión de refuerzos estructurales si es necesario (alambre o tela enyesada).	25-30 minutos.	Manos del artesano, molde base opcional, herramienta de corte para ajustes finos.
4. Secado y endurecimiento	a) El yeso modelado se deja secar al aire o con ayuda de un ventilador para reducir el tiempo. b) Supervisión constante para evitar deformaciones durante el endurecimiento.	1-2 horas (dependiendo del ambiente y tamaño)	Tiempo natural de secado, ventilación adecuada.
5. Acabado final y ajustes	a) Lijado o recorte del yeso endurecido para eliminar bordes irregulares y asegurar comodidad. b) Pintado o aplicación de recubrimiento protector para aumentar la durabilidad.	20-30 minutos.	Lija fina, herramientas de corte, pintura o barniz opcional.

6. Pruebas finales y entrega al paciente	a) Evaluación del ajuste y comodidad en el dedo del paciente. b) Realización de modificaciones menores si es necesario. c) Entrega final y explicación de cuidados para mantener la férula.	10-15 minutos.	Observación directa, retroalimentación del paciente.
--	--	----------------	--

Tabla 2. Procedimiento del método manual.

MÉTODO PROPUESTO (IMPRESIÓN 3D CON PLA)			
ETAPA	DESCRIPCIÓN	DURACIÓN	RECURSOS
1. Evaluación inicial del paciente	a) Identificación de las dimensiones y necesidades específicas del paciente (tamaño del dedo, posición requerida). b) Registro de medidas anatómicas usando herramientas manuales o escáneres 3D, si están disponibles.	10-20 minutos.	Herramientas de medición manuales o digitales, software para registro de datos.
2. Diseño digital de la férula	a) Uso de software CAD (como SolidWorks) para modelar una férula personalizada según las medidas tomadas. b) Verificación del diseño para	30-60 minutos (dependiendo de la experiencia del diseñador).	Software CAD, computadora, conocimientos técnicos en diseño.

	garantizar funcionalidad y comodidad.		
3. Preparación para impresión 3D	a) Exportación del diseño en formato STL. b) Configuración del archivo en el software de corte, Parámetros como resolución, densidad de relleno, tipo de soporte, temperatura del extrusor. c) Carga del filamento PLA en la impresora y nivelación de la base.	15-25 minutos.	Impresora 3D, filamento PLA, software de corte.
4. Impresión de la férula	a) Proceso de fabricación aditiva, donde la impresora construye capa por capa el diseño. b) Supervisión inicial para asegurar que la impresión comience correctamente.	1-3 horas (dependiendo del tamaño y configuración).	Impresora 3D, filamento PLA.
5. Posprocesamiento	a) Eliminación de soportes y limpieza de la pieza. b) Lijado de bordes o superficies rugosas para mejorar la comodidad.	20-30 minutos.	Herramientas manuales para limpieza (cúter, pinzas), papel de lija, pintura opcional.

	c) Pintado o aplicación de recubrimientos si se requiere un acabado estético.		
6. Pruebas finales y entrega al paciente	a) Ajuste de la férula al dedo del paciente para comprobar funcionalidad y comodidad. b) Realización de modificaciones menores, si es necesario. c) Entrega de la férula junto con instrucciones de uso y cuidado	10-15 minutos.	Observación directa, retroalimentación del paciente.

Tabla 3. Procedimiento del método propuesto.

ANÁLISIS COMPARATIVO			
MÉTODO MANUAL (USO DE YESO)		MÉTODO PROPUESTO (IMPRESIÓN 3D CON PLA)	
ETAPA	DURACIÓN PROMEDIO (MINUTOS)	ETAPA	DURACIÓN PROMEDIO (MINUTOS)
Evaluación inicial del paciente	10-15	Evaluación inicial del paciente	10-20
Preparación del material de yeso	15-20	Diseño digital de la férula	30-60
Moldeado manual	25-30	Preparación para impresión 3D	15-25
Secado y endurecimiento	60-120	Impresión de la férula	60-180
Acabado final y ajustes	20-30	Posprocesamiento	20-30

Pruebas finales y entrega	10-15	Pruebas finales y entrega	10-15
Total estimado	140-230 minutos (2.5-4 horas)	Total estimado	145-330 minutos (2.5-5.5 horas)

Tabla 4. Análisis comparativo de procedimientos manual y propuesto.

Factores adicionales que afectan los tiempos en el método propuesto de impresión 3D con PLA.

- Complejidad del diseño: Diseños más detallados o personalizados pueden requerir más tiempo en la etapa de modelado.
- Calidad de impresión: Parámetros como altura de capa y densidad de relleno influyen en el tiempo de impresión.
- Experiencia del operador: Diseñadores y operadores más experimentados pueden reducir tiempos en las etapas de diseño y configuración.

Si consideramos que el diseño digital puede generarse para que sea editable a los distintos formatos de medida de los dedos, es posible eliminar ese tiempo en las siguientes impresiones de férula, quedando un tiempo total estimado en 1.5-2.5 horas.

La tabla comparativa a continuación, incluirá las principales métricas: tiempo de producción, recursos utilizados y variabilidad del producto final:

Aspecto	Método Manual	Método Propuesto (Impresión 3D)
Tiempos de Producción	Medio (2.5-4 horas por férula)	Bajo (1.5-2.5 horas por férula)
Costos Materiales	Bajo (materiales comunes)	Moderado (filamentos o resinas 3D)
Precisión	Baja (dependiente del artesano)	Alta (precisión digital CAD)
Personalización	Limitada (ajustes manuales)	Alta (diseño personalizado)
Requerimientos de Habilidad	Alta habilidad manual	Conocimientos técnicos en diseño 3D
Variabilidad	Alta (producto no siempre uniforme)	Baja (diseños consistentes)

Tabla 5. Comparativo por métricas de los procedimientos manual y propuesto.

CAPITULOS V. CONCLUSIONES

5.1. CONSLUSIONES

El análisis comparativo entre el método manual y el método propuesto con impresión 3D muestra que este último ofrece ventajas significativas en términos de precisión, personalización y reducción de la variabilidad en los productos finales. Aunque el tiempo total puede ser similar en algunos casos, la consistencia y calidad del método digital superan las limitaciones del proceso manual.

La transición hacia un método basado en tecnologías de la Industria 4.0 puede representar una solución efectiva para los problemas asociados al "dedo de gatillo" en los artesanos de la región del Camino Real, al proporcionar férulas más ergonómicas y adaptadas a las necesidades específicas de los usuarios. Además, este enfoque fomenta la integración de tecnología moderna en comunidades artesanales.

Aunque el costo inicial de los equipos para impresión 3D puede ser mayor, los materiales como el filamento PLA son asequibles y sostenibles. Esto hace que, a largo plazo, el método propuesto sea competitivo y más eficiente, especialmente si se implementa a escala.

Sin embargo, la adopción del método propuesto requiere capacitación en diseño CAD y operación de impresoras 3D, lo cual puede ser un desafío inicial para los artesanos, además las férulas impresas en 3D podrían tener limitaciones de resistencia frente a aquellas reforzadas manualmente con alambre o materiales más robustos.

5.2. RECOMENDACIONES

Se sugiere implementar programas de formación en diseño asistido por computadora (CAD) y manejo de impresoras 3D para artesanos, a fin de facilitar la adopción de estas tecnologías en sus procesos de trabajo.

Además de la evaluación de materiales alternativos, aunque el PLA es un material accesible y amigable con el medio ambiente, sería conveniente explorar otros materiales compatibles con impresión 3D que ofrezcan mayor resistencia mecánica, como ABS o PETG, especialmente para férulas que requieren soportar esfuerzos prolongados.

Se recomienda realizar un estudio piloto más amplio para evaluar la aceptación del método propuesto entre los artesanos, así como la durabilidad de las férulas impresas en condiciones reales de trabajo.

La colaboración entre expertos en salud, ingenieros y artesanos es clave para optimizar los diseños y garantizar que las férulas satisfagan tanto los requisitos médicos como las expectativas de los usuarios finales.

Se sugiere buscar apoyos gubernamentales, académicos o de la iniciativa privada para financiar equipos de impresión 3D y proporcionar acceso a materiales a precios reducidos y una vez validado el método propuesto, este podría implementarse en otras regiones con poblaciones vulnerables que enfrenten problemas similares, posicionando el proyecto como un modelo innovador y replicable.

5.3. EXPERIENCIA PROFESIONAL ADQUIRIDA

El presente trabajo se basa en un proyecto de investigación, desarrollo y análisis de procesos que dentro del ámbito de la ingeniería industrial expresa las situaciones de optimización tanto de tiempos como de recursos además de la parte teórica que se requiere para el desarrollo de avances en innovación como base del estudio de nuevas ramas de la ciencia de procesos.

Profesionalmente el trabajar dentro del campo del análisis comprende la base fundamental para el desarrollo profesional de un ingeniero en donde puedo resaltar la parte de la comprensión y resolución de problemas en la optimización de procesos de manufactura que contrasta con las líneas nuevas de investigación.

Profesionalmente el trabajo de reconocimiento de las nuevas tendencias del ámbito industrial comprende la mayor parte de la experiencia profesional adquirida de mi parte ya que la investigación y comprensión de estas técnicas y herramientas que comprende la industria 4.0 como lo es la impresión 3D es algo que cada día se muestra más arraigado con el campo de conocimiento que requiere un ingeniero industrial.

La vinculación de las técnicas de la industria y su impacto con otras áreas específicas igual presenta un nuevo panorama de entendimiento para mí como profesional ya que permite la no limitación a una sola perspectiva de análisis, sino que permite considerar otros puntos de vista que de otro modo se pudiesen ignorar al momento de realizar análisis de procesos.

5.4 COMPETENCIAS DESARROLLADAS

Una de las principales competencias desarrolladas radica en el ser analítico en el generar ese criterio de análisis que permite identificar factores, causas y consecuencias al momento de generar comparaciones entre los procedimientos lo cual genera una mejor interpretación al momento de la resolución de problemas.

Además de análisis, el enfoque sistémico se presenta como una competencia sumamente importante que se ve aplicada dentro de este trabajo al tener que coordinar varias ramas de conocimiento a un entorno específico de evaluación para comprender los resultados obtenidos esto involucra las partes de conocimiento tanto del procedimiento, materiales y tiempos que se requiere para cada procedimiento y por lo cual requieren de un análisis en conjunto.

La parte de liderazgo y autogestión se muestra dentro de la interacción en comunicación que se presentó con mis asesoras de este trabajo en los cuales se presenta el plan de trabajo con las actividades que como líderes me asignaron sin embargo también de mi parte estuvo la autogestión de estos pasos para el cumplimiento.

Pensamiento crítico en conjunto con la adaptabilidad tanto al momento de desarrollar la investigación como el análisis de las fuentes de información que se derivan de ramas distintas entre sí, pero que dentro del análisis toman relevancia para la interpretación de los resultados presentados en este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- AAOS. (Agosto de 2019). *Dedo de gatillo (Trigger Finger)*. Obtenido de OrthoInfo: <https://orthoinfo.aaos.org/es/diseases--conditions/dedo-en-gatillo-trigger-finger>
- Dynapro3D. (11 de Enero de 2021). *Impresión 3D en la industria 4.0*. Obtenido de Dynapro3D: <https://dynapro3d.com/impresion-3d-en-la-industria-4-0/>
- Greenberg, M. A., & Vearrier, D. (Septiembre de 2022). *Lesiones por movimiento repetitivo relacionadas con el trabajo*. Obtenido de Manual MSD: <https://www.msdmanuals.com/es/hogar/temas-especiales/medicina-laboral-y-ambiental/lesiones-por-movimiento-repetitivo-relacionadas-con-el-trabajo>
- Jeffs, M. (15 de Mayo de 2023). *Las 10 lesiones ergonómicas más comunes en el lugar de trabajo y cómo prevenirlas*. Obtenido de TuMeke Ergonomics: <https://www.tumeke.io/es-mx/updates/the-10-most-common-workplace-ergonomic-injuries-and-how-to-prevent-them>
- López B., O. (01 de Mayo de 2023). *Manufactura aditiva en la fabricación de dispositivos médicos*. Obtenido de Modern Machine Shop México: <https://www.mms-mexico.com/columnas/manufactura-aditiva-en-la-fabricacion-de-dispositivos-medicos>
- Metales & Máquinas. (19 de Febrero de 2024). *Férulas hechas a medida mediante impresión 3D*. Obtenido de Metales & Máquinas: <https://www.metalesymaquinas.com/texto-diario/mostrar/4718983/ferulas-hechas-medida-mediante-impresion-3d>
- Quintana, B. (22 de Julio de 2021). *Materiales sustentables para la impresión 3D*. Obtenido de Intelligy: <https://intelligy.com/blog/2021/07/22/materiales-sustentables-para-la-impresion-3d/>
- Ramírez, L. (06 de Marzo de 2023). *Fabricación aditiva, un sector en crecimiento*. Obtenido de IEBS: <https://www.iebschool.com/blog/fabricacion-aditiva-que-es-aplicaciones-tecnologia/>
- Sicnova. (12 de Agosto de 2024). *Cómo la impresión 3D contribuye a la reducción de residuos en la fabricación*. Obtenido de Sicnova: <https://sicnova3d.com/blog/experiencias-3d/como-la-impresion-3d-contribuye-a-la-reduccion-de-residuos-en-la-fabricacion/>
- SINCI. (29 de Septiembre de 2023). *La seguridad industrial en la Industria 4.0*. Obtenido de SINCI: <https://sinci.com/la-seguridad-industrial-en-la-industria-4-0/#:~:text=La%20salud%20ocupacional%20y%20la,la%20gesti%C3%B3n%20inteligente%20del%20mismo.>
- Steinberg, D. R. (Mayo de 2024). *Dedo de gatillo*. Obtenido de Manual MSD: <https://www.msdmanuals.com/es/hogar/trastornos-de-los-huesos-articulaciones-y-m%C3%BAsculos/trastornos-de-la-mano/dedo-en-gatillo>

Theimer, S. (4 de Mayo de 2023). *¿Qué desencadena el dedo en gatillo?* Obtenido de Mayo Clinic:
<https://newsnetwork.mayoclinic.org/es/2023/05/04/que-desencadena-el-dedo-en-gatillo/>