

Análisis y simulación de esfuerzos en las componentes que conforman a una armadura para uso agrícola.

Analysis and simulation of the stresses of the components that make up a reinforcement for agricultural use.

Saúl de Jesús Molina Domínguez (1).
Docente del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.
saul.md@tuxtla.tecnm.mx.

José Manuel Rasgado Bezares* (2). Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez,
jose.rb@tuxtla.tecnm.mx.

Juan Carlos Niños Torres (3). Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez,
juan.nt@tuxtla.tecnm.mx.

Ignacio Arrijoja Cárdenas (4). Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez,
ignacio.ac@tuxtla.tecnm.mx.

Fernando Alfonso May Arrijoja (5). Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez,
fernando.ma@tuxtla.tecnm.mx.

*corresponding author.

Artículo recibido en diciembre 03, 2024; aceptado en diciembre 20, 2024.

Resumen.

En este proyecto se presenta el diseño de una armadura enfocado a la población adulta mexicana-chiapencana que labora constantemente en el campo, siendo el cultivo y cuidado de este su actividad principal. El objetivo es desarrollar un armazón capaz de reducir esfuerzo durante el tiempo en la que un agricultor se mantiene fumigando los cultivos con una bomba para fumigar; considerando las medidas antropométricas de la población objetivo. Para el diseño virtual del prototipo se utiliza una adaptación de la metodología de diseño mecánico de armaduras. El diseño propuesto es validado cinemáticamente mediante simulaciones en SolidWorks y algunos otros programas de computadora, comprobando el rango de resistencia en las piezas presentadas. Además, se realiza el análisis de elemento finito para cuantificar esfuerzos y deformaciones en el exoesqueleto, verificando la selección de materiales para su manufactura.

Palabras claves: Antropométricas, diseño virtual, elemento finito, exoesqueleto, SolidWorks.

Abstract.

This project presents the redesign of an exoskeleton focused on the Mexican-Chiapencana adult population that constantly works in the field, with cultivation and care being its main activity. The objective is to develop an exoskeleton capable of reducing effort during the time in which a farmer continues spraying crops with a backpack pump sprayer, considering the anthropometric measurements of the target population. An adaptation of the

mechanical design methodology for exoskeletons is used to design the prototype. The proposed design is kinematically validated through simulations in Solidworks and some other computer programs, checking the resistance range in the presented parts. In addition, finite element analysis is carried out to quantify stresses and deformations in the exoskeleton, verifying the selection of materials for its manufacture.

Keywords: Anthropometrics, exoskeleton, finite element, SolidWorks, virtual design.

1. Introducción.

Los exoesqueletos mecánicos son acoplados a extremidades del cuerpo humano enfocados en su gran mayoría a la rehabilitación, incremento de fuerza, velocidad y rendimiento. Uno de los temas importantes tratados en este proyecto es el apoyo que se le otorga a un individuo en el ámbito laboral dentro de la actividad primaria de agricultura, pues en esta se engloba lo que es la utilización de diversos utensilios o herramientas; tal es el caso de los tanques aspersores para fumigar los plantíos. De ello se deriva la búsqueda de un diseño de exoesqueleto adecuado, que pueda otorgar fuerza de apoyo al trabajador, además de contar con un cómodo ajuste, que pueda evitar futuras lesiones de espalda o columna, por la continua utilización del tanque, como se puede observar en la figura 1.

Dentro de las actividades cotidianas de una persona, se tiene de las más básicas: caminar. Es una actividad automática y común, siendo de las funciones más importantes de las extremidades inferiores, además de soportar el peso de la persona, pero cuando por necesidades laborales se necesita mantener más peso del debido, se pueden recurrir a diversas técnicas de apoyo, como lo son mochilas, maletas, bolsos, etc., que puedan abastecernos como herramienta de carga; sin embargo, debido al uso continuo de estos objetos, algunas partes de nuestro cuerpo pueden sufrir daños irreversibles, que además de afectar físicamente, igualmente de manera económica, tanto para el individuo como para el productor en su venta de alimentos.

El diseño virtual de la armadura es un diseño que busca favorecer todos los puntos de trabajo para el agricultor, quien pasa gran parte del tiempo parado, caminando y que además mantiene una postura de carga, con un tanque sobre la espalda que tiene un peso determinado. La armadura minimizaría la fuerza que el cuerpo soportaría, pues gracias a la dispersión a través de los tubos donde se colocaría el tanque, y los acoplados a las piernas, el desgaste de carga sería menor. También se utilizarían materiales resistentes, ligeros, y económicos, que concuerden con una carga mínima para el operante; así, la construcción y uso de este serían fáciles y seguros.



Figura 1. Agricultores fumigando.

Lumbalgia.

La lumbalgia es la presencia de dolor en la región lumbar, es decir, en la espalda y cintura, que con frecuencia se recorre a los glúteos y muslos; generalmente se presenta después de realizar un gran esfuerzo con una postura

inadecuada, por ejemplo, después de cargar cosas muy pesadas sin protección de la columna o después de una caída o golpe muy fuerte. Se trata de un problema muy frecuente que afecta aproximadamente a 80 de cada 100 personas. Atendiendo a la duración de los síntomas, la lumbalgia puede definirse como:

- Lumbalgia aguda: el dolor puede reducirse hasta desaparecer después de unos días, durando hasta seis semanas, generalmente puede ser causada por períodos prolongados frente al computador en una postura dañina o debido al estrés psicológico y emocional.
- Lumbalgia subaguda: el dolor persiste de seis a doce semanas.
- Lumbalgia crónica: el dolor persiste por más de doce semanas. Por lo general, son signos de desgaste estructural. Puede ser subsecuente al dolor agudo si no se recibe tratamiento, o cuando se ve fomentado por una postura incorrecta por años, lo que consecuentemente puede desarrollar un daño, ver figura 2 (Aguilar B. E, 2010).

Causas clínicas de la lumbalgia:

- Mecánica.
- Inflamatoria.
- Neuropática.
- Traumático dolor referido (por enfermedad visceral o vertebral).
- Causa indeterminada.

Factores laborales de riesgo para la lumbalgia:

- Trabajo físicamente pesado.
- Posturas de trabajo estáticas.
- Flexiones y giros frecuentes de tronco.
- Levantamiento y movimientos potentes.
- Trabajo repetitivo.
- Vibraciones.

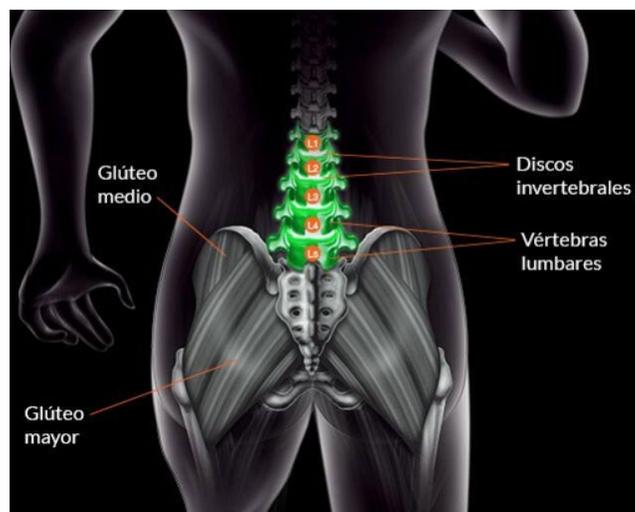


Figura 2. Área principal de afectación de la lumbalgia.

2. Métodos.

Método de elementos finitos (MEF).

El Método de los Elementos Finitos es un método numérico de resolución de problemas de Mecánica de Sólidos que resulta de gran importancia por su utilidad práctica. Es una herramienta de cálculo muy potente que permite al ingeniero estructuralista resolver infinidad de problemas. Sin embargo, es un método que no proporciona la solución “exacta” a un problema dado, sino que, en realidad, posibilita obtener una solución aproximada que, con el juicio ingenieril que se le supone al calculista, puede ser más que suficiente para la resolución de un problema práctico, ver figura 3.

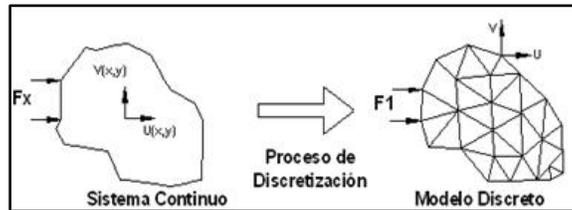


Figura 3. Modelación por elemento finito.

Las posibilidades del método no sólo se limitan a casos bidimensionales, sino que también, permite analizar problemas tridimensionales: podemos analizar cualquier pieza de cualquier geometría, obteniendo el campo tenso-deformacional en su interior, y así luego poder comprobar que la pieza analizada cumple con los requisitos estructurales que esperábamos de ella. En general, en un problema a analizar por el Método de los Elementos Finitos, conoceremos las fuerzas exteriores aplicadas en algunos de sus nudos y los valores de los desplazamientos en otros (dependiendo de las ligaduras que posea el sólido, ver figura 4). La clave del método está en que, tras su aplicación, obtendremos una expresión del tipo:

$$\{F\} = [K]\{u\} \dots\dots\dots \text{Ecuación 1.}$$

Donde:

- {F} = vector columna, conocido como vector de cargas, están todas las fuerzas exteriores (directamente aplicadas y reacciones producidas por ligaduras) que actúan sobre el sólido.
 - {u} = denominado vector de desplazamientos nodales, que representa, de manera ordenada, todos los desplazamientos que experimentan los nudos del modelo.
 - [K] = matriz de rigidez del sistema estructural, cuya formación constituye el “corazón” del método.
- Teoría del Esfuerzo Cortante Máximo.

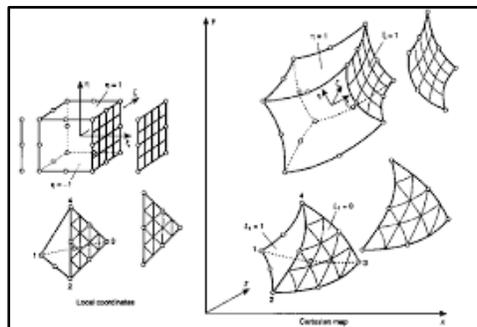


Figura 4. Casos tridimensionales con elementos finitos.

Como ya se ha comentado, se ha determinado que el criterio de tensiones que se utilizará será la teoría de la energía de distorsión o teoría de Von Mises, también se analizaron las teorías aplicadas sobre un elemento general de esfuerzo

bidimensional, para determinar cuál será la más completa de forma global, y utilizarla para nuestro estudio. En la siguiente figura se muestra el estado tensional para un elemento de una pieza sobre un plano. A continuación, se mostrará los criterios considerados en la elección del análisis a fatiga. Como primera opción se ha escogido esta teoría por su interés histórico ya que sus predicciones no concuerdan con la experimentación y en algunas condiciones de esfuerzos, nos sitúa del lado de la inseguridad. Esta teoría establece que la falla se produce siempre que el esfuerzo principal mayor sea igual a la resistencia. También conocida como Teoría de Tresca (De Castro P). Establece que la fluencia del material se produce por el esfuerzo cortante, surgió de la observación de la estricción que se produce en una probeta cuando es sometida a un ensayo de tensión. La teoría dice: “La falla se producirá cuando el esfuerzo cortante máximo absoluto en la pieza sea igual o mayor al esfuerzo cortante máximo absoluto de una probeta sometida a un ensayo de tensión en el momento que se produce la fluencia, ver figura 5”.

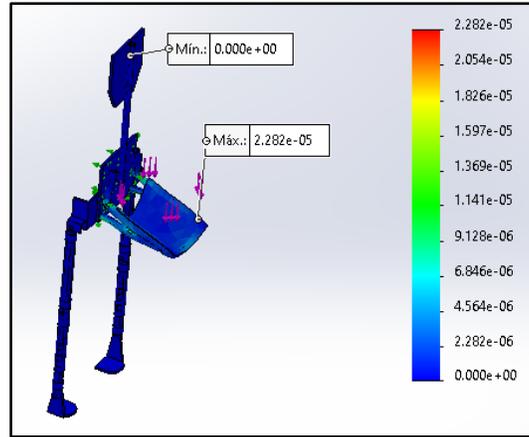


Figura 5. Ejemplo de utilización de SolidWorks Simulation.

El esfuerzo cortante máximo absoluto es entonces:

$$\tau_{max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \quad (1)$$

Por lo tanto, el esfuerzo cortante máximo absoluto es entonces para el ensayo de tensión al momento de la fluencia:

$$\tau_{max} = \frac{S_y}{2} \quad (2)$$

Según la teoría de Tresca, igualamos las ecuaciones 1 y 2 y tenemos:

$$\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \frac{S_y}{2} \quad (3)$$

$$\sigma_1 - \sigma_3 = S_y$$

La ecuación 3 se utiliza cuando $\sigma_1 > \sigma_3$. En los otros casos:

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= S_y, \text{ cuando } \sigma_1 > \sigma_3 > 0 \\ \sigma_3 &= -S_y, \text{ cuando } 0 > \sigma_1 > \sigma_3 \end{aligned} \quad (4)$$

En el plano $\sigma_1 - \sigma_3$, la teoría de Tresca se representa gráficamente como, ver figura 6:

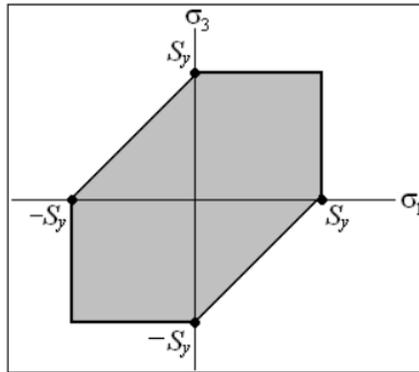


Figura 6. Representación gráfica de la Teoría de Tresca.

La falla se presentará cuando el punto determinado por los esfuerzos σ_1 y σ_3 , se encuentra fuera del área sombreada en la figura 3 (De Castro P.).

Teoría de la energía de distorsión o Von mises.

Esta teoría fácil surgió de la observación de que los materiales dúctiles sometidos a esfuerzos hidrostáticos (igual esfuerzos de tracción o compresión en todas las direcciones), tenían resistencias de fluencia muy superiores a los valores obtenidos por tracción simple. Se basa en suponer que la tensión a la que está sometido un elemento en estado triaxial (a), en el que se produce cambio de volumen y distorsión, podemos descomponerlo en dos elementos distintos. Elemento de estado de tensión hidrostática, en el que solo hay cambio de volumen (b). Elemento en el que se produce deformación angular sin cambio de volumen (c). Analizando la figura anterior, el trabajo efectuado en el cubo unitario de cada una de las direcciones principales es:

$$u_n = (\sigma_n * \epsilon_n)/2 \dots \dots \dots (5)$$

Donde:
 n=direcciones principales.
 Así la energía total de deformación es:

$$u = u_1 + u_2 + u_3 = u_v + u_d = \left[\frac{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - 2\mu(\sigma_1\sigma_2 + \sigma_2\sigma_3 + \sigma_3\sigma_1)}{2E} \right] \dots \dots \dots (6)$$

Siendo:
 E = módulo de elasticidad.
 μ = coeficiente de Poisson.
 u_v y u_d = energía de deformación que produce cambio de volumen y sólo deformación angular sin cambio de volumen respectivamente.

Podemos definir el esfuerzo medio hidrostático como:

$$\sigma_{med} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3} \dots \dots \dots (7)$$

Los esfuerzos restantes $\sigma_n - \sigma_{med}$ provocarán únicamente distorsión por lo que la cantidad de energía de deformación que sólo produce cambio de volumen es:

$$\mu_v = \left[\frac{1}{2E} \right] [3\sigma_{med}^2 - 2\mu(3\sigma_{med}^2)] \dots \dots \dots (8)$$

Por ello se obtiene que la energía de distorsión o deformación angular sin cambio de volumen sea:

$$u_d = u - u_v = \left(\frac{1+\mu}{3E}\right) \left[\frac{(\sigma_1-\sigma_2)^2+(\sigma_2-\sigma_3)^2+(\sigma_3-\sigma_1)^2}{2}\right] \dots\dots\dots (9)$$

En el supuesto de un ensayo de tracción simple ($\sigma_1 = S_y$ y $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$) tendremos:

$$u_d = \left[\frac{1+\mu}{2E}\right] S_y^2 \dots\dots\dots (10)$$

Igualando, se define el punto de iniciación de fluencia que será:

$$\sigma_{vm} = \sqrt{\frac{(\sigma_1-\sigma_2)^2+(\sigma_2-\sigma_3)^2+(\sigma_3-\sigma_1)^2}{2}} \dots\dots\dots (11)$$

Para un estado de esfuerzo biaxial tendremos:

$$S_{sy} = \sigma_1^2 - \sigma_2\sigma_1 + \sigma_2^2 \dots\dots\dots (12)$$

Para el caso de torsión pura:

$$S_{sy} = 0.577S_y \dots\dots\dots (13)$$

3. Desarrollo.

Con lo obtenido en el punto número uno teniendo el conocimiento necesario de un exoesqueleto y de los daños a la columna, se evaluará el funcionamiento de este prototipo para poder desarrollar un rediseño y establecer una metodología para el diseño de este nuevo prototipo de la armadura. En esta etapa evaluamos el primer prototipo para realizar mejoras, ver figura 7.

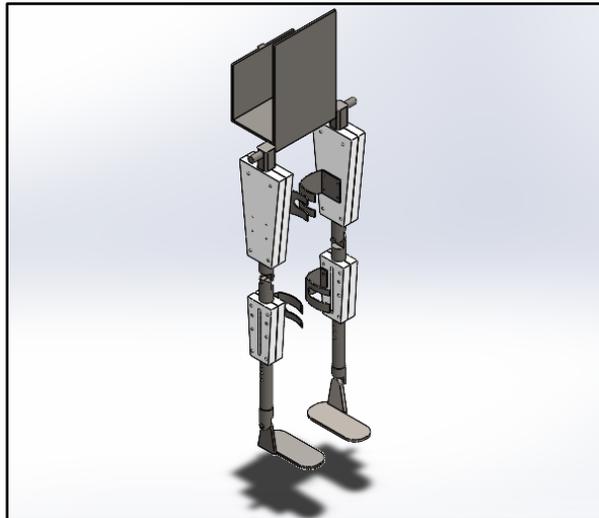


Figura 7. Armadura del del prototipo 1 visto desde el software.

Propuestas de mejora al exoesqueleto.

Observando el ensamble de la armadura y los estudios de análisis estáticos en el software comercial de la armadura del prototipo 1 y con ayuda del estudio del arte de exoesqueletos; se hicieron las propuestas de rediseño para la armadura de uso agrícola.

En la primera propuesta de rediseño se propusieron las siguientes remodelaciones, ver figura 8.

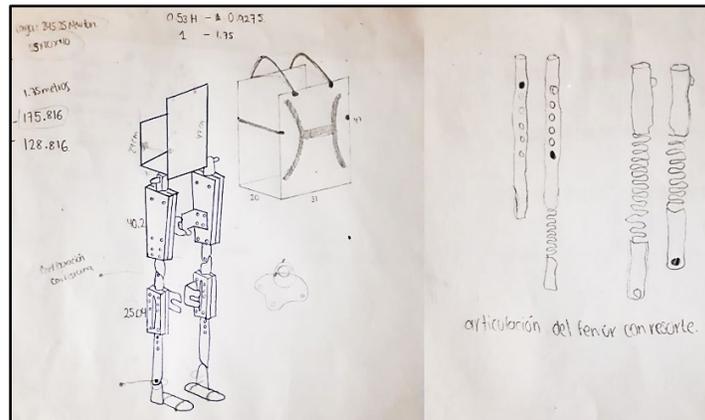


Figura 8. Propuesta 1 de Rediseño.

•Remodelación 1.

Esta remodelación consiste en hacer la parte de la caja donde ira la bomba como una mochila y ponerle cintos que sostengan a la bomba para que tenga un mejor agarre, ver figura 9.

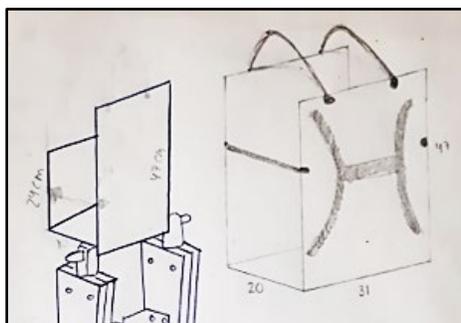


Figura 9. Boceto de la remodelación 1 de la primera propuesta de diseño.

•Remodelación 2.

Consiste en agregarle amortiguadores de resortes a la articulación del fémur, para reducir el impacto sobre las articulaciones, ver figura 10.



Figura 10. Boceto de la remodelación 2 de la propuesta 2 de diseño.

Después de ver las propuestas se prosiguió a hacer una propuesta final, tomando partes de las dos propuestas y con ayuda del estado del arte para llegar a una propuesta final, ver figura 11.

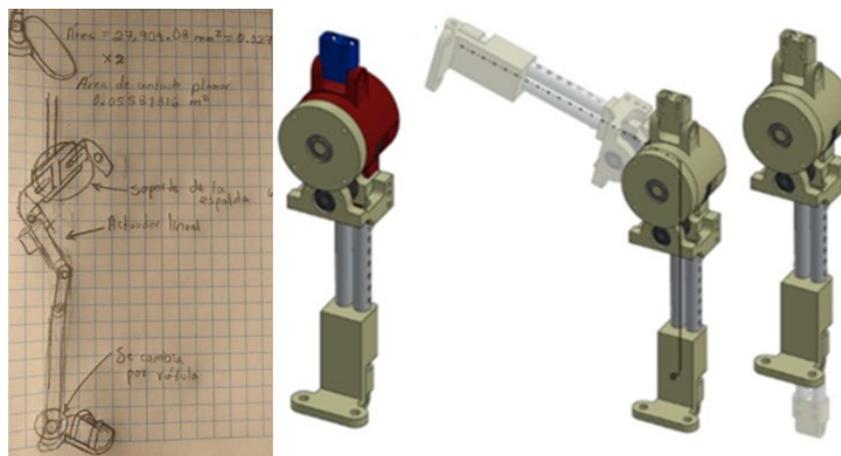


Figura 11. Propuesta final para el diseño.

•Remodelación 1.

Se le pondrá un soporte en la parte de la espalda de la armadura, este soporte constara de un tubo con una placa la cual hará que el armazón se adhiera cómodamente a la espalda de la persona. Retomando la idea de remodelación 2 de la primera propuesta de rediseño se le añadirá un actuador lineal hidráulico que va a sustituir a la parte del fémur, ver figura 12.

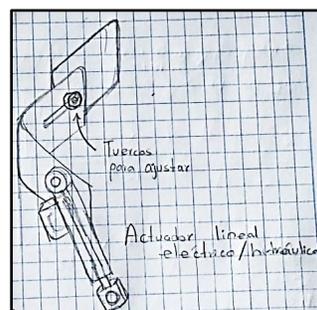


Figura 12. Remodelación 1 de la propuesta final.

•Remodelación 2.

Consiste en poner un arnés junto a la base del tanque que permitirá que la bomba aspersor de fumigar tenga un mejor agarre en el hombro de la persona, ver figura 13.

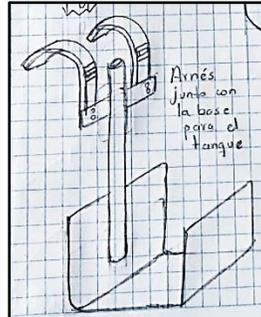


Figura 13. Remodelación 2 de la propuesta final.

•Remodelación 3.

Consiste en cambiar el perno que une la articulación de la rótula con la articulación de la tibia por una rótula de 2 GDL, ver figura 14.



Figura 14. Remodelación 3 de la propuesta final.

Espalda-cadera.

La pieza mostrada a continuación, ver figura 15; supone ser pieza clave del exoesqueleto, pues es donde se materializa el apoyo que existirá entre la espalda, cadera, y el área donde será colocada la bomba aspersora (tanque para fumigación). Esta pieza consta de una serie de tubos soldados a placas que servirán de apoyo tanto para la espalda como para la cadera, de igual forma se tiene un tubo colocado de manera vertical simulando la columna, ya que dará el soporte general del cuerpo, ayudando a la posición del mismo.



Figura 15. Espalda cadera del prototipo. Visto desde software comercial

Ensamblaje de espalda-cadera.

Este ensamble se compone de la pieza principal (espalda), la cual como se observa en la figura 15, se compone de una serie de tubos soldados a placas que sirven como soporte de los mismos, amoldándose en apoyo a la parte superior del cuerpo. También observamos en la figura 16, cómo unas placas en L se añaden en la parte baja de los laterales, funcionando como unión entre la pieza espalda-cadera y las piernas; además, estas placas se ajustan gracias a tuercas, ayudando al ajuste a cualquier tipo de cadera del individuo que utilizará el exoesqueleto.

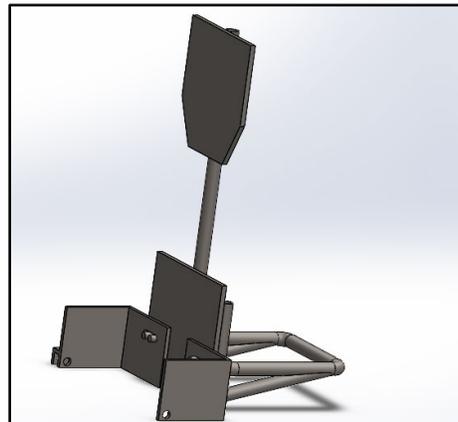


Figura 16. Ensamblaje de espalda-cadera, visto desde software comercial.

Ensamble.

Después de realizar cada componente que hace la función del fémur, tibia, pies se prosiguió a ensamblar cada una de las piezas y se llegó a un resultado final, ver Figura 17.

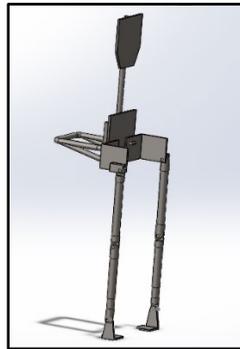


Figura 17. Ensamble final del rediseño del prototipo. Visto desde software comercial.

Modelos de la armadura en la parte de la cadera.

Para realizar el análisis estático, la sujeción que acompaña a la armadura fue la de geometría fija que va en ambos pies y en la placa de la cadera. Además, se agregan los dos diseños de la base de la bomba con tubos y la otra con el diseño de una placa donde se aplicará la carga, ver figura 18.

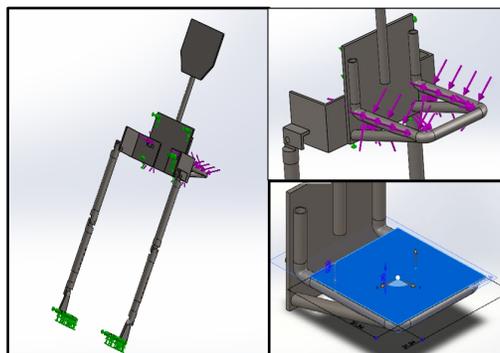


Figura 18. Sujeción de geometría fija en la armadura y zona de aplicación de la carga base de la bomba.

Modelado y simulación de la armadura base con tubos en la parte de la cadera.

Se prosiguió a mallar todos los componentes del ensamble para realizar la simulación con los parámetros de sujeción y aplicación de la carga equivalente a un peso de 30 kg, ver figura 19.

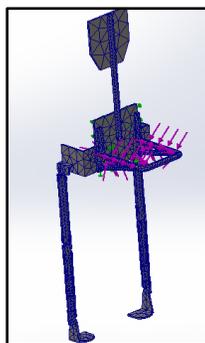


Figura 19. Mallado de los componentes del exoesqueleto. visto desde software comercial.

Para realizar el análisis estático, la sujeción que acompañó al exoesqueleto fue la de geometría fija que va en ambos pies y en la placa de la cadera. Se aplicó la fuerza de 294.3 Newton en la parte de los tubos de la espalda del exoesqueleto donde las fuerzas son verticales con dirección hacia abajo. Se prosiguió a mallar todos los componentes del ensamble para realizar la simulación, los resultados de esfuerzo, desplazamiento y deformación se muestran en las figuras 20, 21 y 22 respectivamente (Rivera Berrí 2023).

- Tensiones de Von Mises.

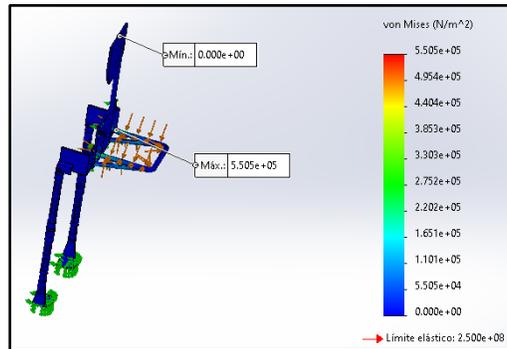


Figura 20. Tensión de Von Mises en el exoesqueleto con una carga de 294.3 N. visto desde software comercial.

- Desplazamientos en el eje Y.

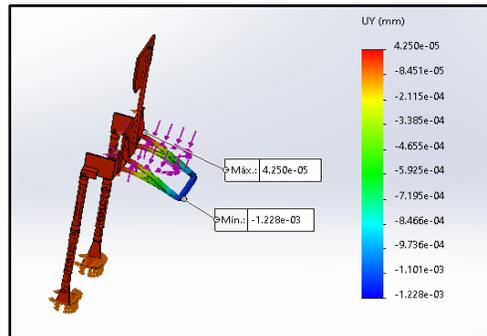


Figura 21. Desplazamiento en el eje Y del exoesqueleto con una carga de 294.3 N. visto desde software comercial.

- Deformaciones unitarias.

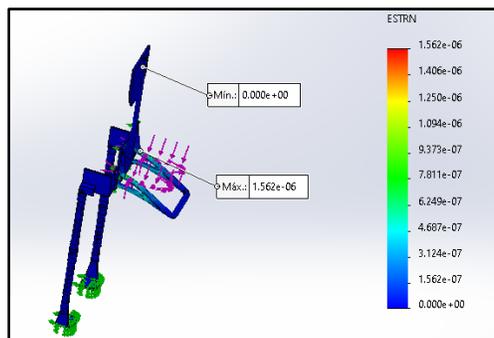


Figura 22. Deformaciones unitarias en el exoesqueleto con una carga de 294.3 N. visto desde software comercial.

Modelado y simulación de la armadura base con placa en la parte de la cadera.

Para realizar el análisis estático, se utilizó las mismas condiciones de frontera del modelo anterior, solo que esta vez se usó el modelo con el diseño de la cadera con una placa, para que en ella se asiente la bomba de fumigación y ahí sea aplicada la carga. Se aplicó la fuerza de 294.3 Newton en la superficie de la placa de la armadura donde las fuerzas son verticales con dirección hacia abajo. Se prosiguió a mallar todos los componentes del ensamble para realizar la simulación, los resultados de esfuerzo, desplazamiento y deformación se muestran en las figuras 23, 24 y 25 respectivamente.

Modelo de exoesqueleto sometidos a cargas de 30 kg.

Tensiones de Von Mises.

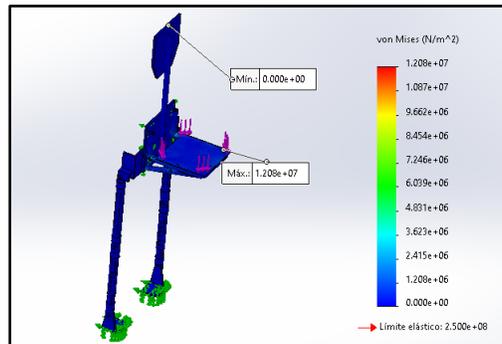


Figura 23. Tensiones de Von Mises en el exoesqueleto con una carga de 294.3 N. visto desde software comercial.

Desplazamiento en el eje Y.

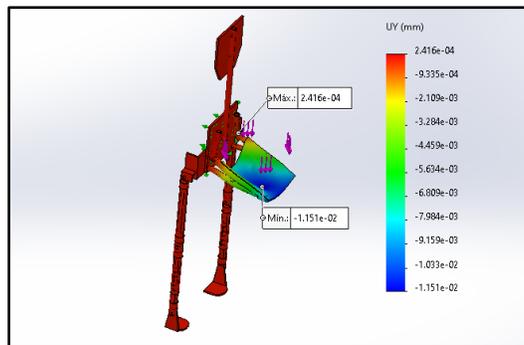


Figura 24. Desplazamiento en el eje Y en el exoesqueleto con una carga de 294.3 N. visto desde software comercial.

Deformación unitaria.

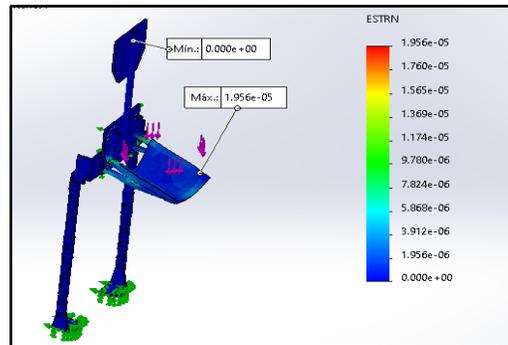


Figura 25. Deformación unitaria en el exoesqueleto con una carga de 294.3 N. visto desde software comercial.

Conclusiones.

Como se ha descrito hasta ahora, cada uno de los pasos seguidos durante la metodología han sido claves para el desarrollo del prototipo de exoesqueleto que se rediseñó. Durante cada paso previsto, la construcción del prototipo mediante el software comercial SolidWorks, nos ha arrojado diversas características que son importantes para el análisis de la posible construcción de la armadura. A continuación, se presentan nuevamente los bocetos del diseño con los cuales se partió para la realización del prototipo virtual. Posteriormente se describen cada uno de los resultados arrojados gracias al software en lo que comprende historial básico del adecuado funcionamiento de la armadura. También hemos añadido los siguientes planos explosionados de los ensambles que existen en este prototipo, junto con las tablas donde se enlistan cada uno de los componentes; todas las piezas se realizaron por medio del software comercial SolidWorks, ver tabla 1.

Tabla 1. Piezas del ensamble del exoesqueleto, junto con ergonomía.

Número de elemento	Número de pieza	Cantidad
1	Espalda-cadera	1
2	Cadera	1
3	Tibia 2	2
4	Pieza tibia 1	2
5	Tibia 1	2
6	Pie derecho	1
7	Perno	4
8	Pieza tibia 2	6
9	Fémur	2
10	Pie izquierdo	1
11	Pieza recubrimiento fémur	4
12	Pieza recubrimiento tibia	4
13	Abrazadera fémur	2
14	Abrazadera tibia	2

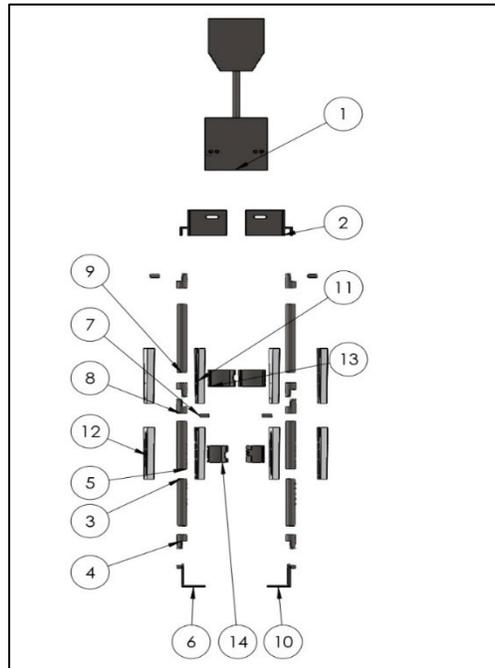


Figura 26. Plano explosionado del ensamble de la armadura, junto con la ergonomía.

De acuerdo con todo lo expuesto en el documento concluimos que se ha finalizado con éxito el rediseño del prototipo de la armadura para uso agrícola, que no sólo cuenta con la base para colocar el tanque de fumigación, sino también con soporte en la cadera, espalda que ayudan a mantener mejor rigidez y apoyo al individuo. Este rediseño se basó en las recomendaciones y características investigadas del primer diseño del prototipo, y con nuevas ideas se logró implementar un rediseño satisfactorio. Dentro de las mejoras que se realizaron, fueron:

- Ajuste de la armadura de acuerdo con la persona que lo use; en altura/talla, y ancho de cadera.
- Menor volumen y peso de la armadura, siendo más liviano para su uso.
- Suelas parciales que sólo se ajustan al tacón de los zapatos; para así tener mayor movilidad en el pie durante la caminata.
- Soporte para la espalda-columna; ayudando a dar mejor balance y resistencia en la parte superior de la armadura.

Aun cuando el rediseño se favoreció gracias a algunas de las modificaciones, se piensa que la resistencia y capacidad de uso de la armadura puede mejorar, por tanto, damos a conocer nuevas recomendaciones para el prototipo, y la construcción del mismo.

- Peso del exoesqueleto: aunque disminuyó el peso del prototipo aún con el mismo material (A36 Acero), creemos que, dentro de las posibilidades de mejorar la materia prima, se puede optar por un material aún más ligero y que posea características de resistencia como el acero.
- Pueden existir mejoras en la zona de espalda cadera, añadiendo arneses que den mayor apoyo en la espalda del usuario. Al igual, la ergonomía empleada puede ser mejorada.
- Utilización de otros dispositivos, como actuadores neumáticos que sirvan de amortiguador del peso, para cada pierna.

Referencias bibliográficas.

Aguilar B. E. Introducción al estudio de la biomecánica y anatomía funcional. [https://Introducción al Estudio de la Biomecánica y Anatomía Funcional.](https://Introducción%20al%20Estudio%20de%20la%20Biomecánica%20y%20Anatomía%20Funcional)

De Castro P. Carlos A. *Teorías de falla bajo cargas estáticas.* [http://dim.usal.es/eps/im/roberto/cmm/Teorasdefallabajocargasestticas.pdf.](http://dim.usal.es/eps/im/roberto/cmm/Teorasdefallabajocargasestticas.pdf)

Rivera Berrí Juan G. *Resistencia de materials, transformacio de esfuerzos y deformaciones*, Capitulo 2 y 6 (2023). Red educativa digital Descartes, Cordoba España. [https://prometeo.matem.unam.mx/recursos/VariosNiveles/iCartesiLibri/recursos/Resistencia_de_Materiales/index.html.](https://prometeo.matem.unam.mx/recursos/VariosNiveles/iCartesiLibri/recursos/Resistencia_de_Materiales/index.html)

Información de los autores.



Saúl de Jesús Molina Domínguez, es Ingeniero Mecánico por el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez de Chiapas, cuenta con una Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecánica por el Instituto tecnológico de Celaya Guanajuato, cuenta con Doctorado en Ingeniería Aplicada por el Colegio de Formación Educativa Tenam.



José Manuel Rasgado Bezares, es Ingeniero Mecánico por el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez; ha trabajado en proyectos de construcción y ampliación de Centrales Hidroeléctricas como supervisor de obra electromecánica de la Comisión Federal de Electricidad. Actualmente es jefe del Departamento de Metalmecánica y docente en activo del claustro en la H. Academia de Ingeniería Mecánica del Instituto Tecnológico Tuxtla Gutiérrez/Tecnológico Nacional de México. Ha publicado dos libros.



Juan Carlos Niños Torres, es Ingeniero Mecánico egresado del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, cuenta con la Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecánica del Instituto Tecnológico de Celaya, así también con el Doctorado en Ingeniería Aplicada de la Universidad TENAM. Actualmente es Profesor Investigador del Departamento de Metal Mecánica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez y jefe de la División de Estudios Profesionales del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. Cuenta con el perfil

PRODEP 2022-2025 como miembro del Cuerpo Académico Ingeniería Mecánica en la línea de investigación de Diseño Mecánico. Es miembro del comité de evaluadores del Consejo de Acreditación de la Enseñanza de la Ingeniería (CACEI A.C.) avalado por



Ignacio Arrijo Cárdenas, es profesor de tiempo completo y jefe de proyectos de docencia en el departamento de Metal-Mecánica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez/Tecnológico Nacional de México. Doctor en Ingeniería aplicada por el Colegio de Formación Educativa Tenam, Maestro en Ciencias en Ingeniería Mecánica por el Instituto Tecnológico de Veracruz, Maestro en Ciencias Físicas por Centro Mesoamericano de Física Teórica-Universidad Autónoma de Chiapas e Ingeniero Mecánico por el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.



Fernando Alfonso May Arrijo, Licenciado en Ingeniería Mecánica por el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Maestro en Energías Renovables por la Universidad Politécnica de Chiapas y Doctorado en Ingeniería Aplicada en el Colegio de Formación Educativa Tenam. Profesor de Carrera Enseñanza Superior en el Departamento de Metal-Mecánica del TecNM/Instituto