

DISEÑO DE DISPOSITIVO ASISTENTE PARA BANCO DE EJERCICIOS  
ENFOCADOS EN PECTORALES Y HOMBROS

ANDRÉS FELIPE RINCÓN MAESTRE

CÓDIGO: 2163607

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA  
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS  
BOGOTÁ

2024

DISEÑO DE DISPOSITIVO ASISTENTE PARA BANCO DE EJERCICIOS  
ENFOCADOS EN PECTORALES Y HOMBROS

ANDRÉS FELIPE RINCÓN MAESTRE

CÓDIGO: 2163607

Proyecto de grado en la modalidad de solución a un problema de ingeniería para optar  
al título de ingeniero mecánico

DIRECTOR

ING. ANDRES GERARDO CLAVIJO VARGAS

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA  
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS  
BOGOTÁ  
2024

## **DEDICATORIA**

A mis amados padres, Cielo Maestre y José Rincón, pilares inquebrantables de mi vida. Su amor, apoyo incondicional y sacrificios han sido la base de mi éxito. Gracias por creer en mí y por estar a mi lado en cada paso del camino.

A mis queridos profesores, quienes no solo me han transmitido conocimientos, sino que también me han guiado y alentado a crecer como profesional. Su dedicación y pasión por la enseñanza han dejado una huella imborrable en mi formación académica.

A mis valiosos compañeros de estudio, quienes han compartido esta travesía conmigo. Juntos hemos enfrentado desafíos, intercambiado ideas y brindado apoyo mutuo. Agradezco su colaboración y compañerismo, ya que han enriquecido mi experiencia de aprendizaje.

Esta dedicación es un humilde reconocimiento a las personas que han dejado huella en mi trayectoria. Su influencia ha sido fundamental para alcanzar el éxito en este proyecto de grado. A todos ustedes, les debo mi gratitud eterna.

¡Gracias por ser mi inspiración y por acompañarme en este emocionante viaje académico!

## **AGRADECIMIENTOS**

Quisiera expresar mi más sincero agradecimiento a las personas e instituciones que han sido fundamentales en el desarrollo y culminación de mi proyecto de grado.

En primer lugar, quiero agradecer de todo corazón a mi amada madre, Cielo, y a mi querido padre, José, por su apoyo incondicional y su constante respaldo. Su amor, comprensión y sacrificio han sido la fuerza que me ha impulsado a alcanzar mis metas académicas. No tengo palabras suficientes para expresar mi gratitud por todo lo que han hecho por mí.

También deseo agradecer de manera especial al director de mi tesis, el Ing. Andrés Clavijo. Su amplio conocimiento, orientación experta y paciencia han sido invaluable durante todo el proceso de desarrollo de mi proyecto. Gracias a su guía, he logrado ampliar mis horizontes y mejorar mis habilidades en el campo de la ingeniería. Estoy profundamente agradecido por su mentoría y dedicación.

Asimismo, quiero expresar mi reconocimiento a la Universidad Santo Tomás, que ha sido mi segundo hogar durante estos años de formación académica. Agradezco a todos los profesores y personal administrativo por su compromiso con la excelencia educativa. Su apoyo y recursos han sido vitales para mi crecimiento y aprendizaje.

Finalmente, quiero expresar mi gratitud a todas las personas que han contribuido a mi desarrollo académico y personal. Su confianza y aliento han sido un regalo invaluable.

## RESUMEN

El presente proyecto se centra en el diseño al detalle de una máquina asistente para realizar ejercicios de musculación, específicamente los ejercicios de empuje denominados "*press*" para el conjunto muscular pectorales-hombros. Estos ejercicios involucran el uso de una barra con cargas de peso en condición libre, donde el usuario realiza empujes con el propósito de generar rupturas en las fibras musculares y, como consecuencia, promover la hipertrofia muscular mediante la posterior recuperación.

Para alcanzar la hipertrofia muscular, se requiere que el usuario realice los ejercicios "*press*" con la máxima capacidad de carga posible, llevando las repeticiones hasta el punto de fallo muscular. Sin embargo, las fallas musculares pueden ser impredecibles e incontrolables, lo que implica un riesgo de accidente, como la caída del peso sobre el usuario, que puede resultar en lesiones físicas o atrapamientos.

Ante la posibilidad de lesiones, los usuarios buscan contar con la ayuda de un asistente externo durante el ejercicio. En caso de fallo muscular, este asistente proporciona una fuerza adicional para garantizar la realización segura y efectiva de las repeticiones necesarias con el objetivo de evitar los riesgos asociados a las fallas musculares y prescindir de la necesidad de un asistente humano. Por este motivo, se plantea el desarrollo del diseño de una máquina asistente que brinde soporte durante los ejercicios de musculación.

La máquina asistente propuesta se presenta como una solución tecnológica y segura diseñada específicamente para proporcionar el apoyo necesario durante los ejercicios "*press*", minimizando los riesgos de lesiones y asegurando una ejecución eficiente y efectiva de las repeticiones requeridas.

## TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	11
2. OBJETIVOS.....	12
2.1. OBJETIVO GENERAL .....	12
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	12
3. MARCO REFERENCIAL .....	13
3.1. MARCO CONCEPTUAL .....	13
3.2. MARCO TEORICO .....	15
3.3. ESTADO DEL ARTE.....	17
4. ESPECIFICACIONES DE DISEÑO.....	21
4.1. MANUFACTURACIÓN:.....	21
4.2. FACILIDAD DE MANIPULACIÓN: .....	21
4.3. FACILIDAD DE MANTENIMIENTO: .....	21
4.4. CANTIDAD DE COMPONENTES:.....	21
4.5. RIGIDEZ DE LA ESTRUCTURA:.....	21
4.6. ACTIVACIÓN DEL MECANISMO: .....	21
4.7. GRADUACIÓN ERGONÓMICA: .....	22
4.8. SEGURIDAD:.....	22
4.9. MECANISMO IMPULSOR: .....	22
5. DISEÑO CONCEPTUAL .....	23
5.1. PRESENTACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS .....	23
5.1.1. ALTERNATIVA 1 .....	25
5.1.2. ALTERNATIVA 2 .....	25
5.1.3. ALTERNATIVA 3.....	26
5.2. EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS .....	27
6. DISEÑO DE DETALLE .....	28
6.1. BRAZO DE ELEVACIÓN .....	28
6.1.1. DIMENSIONAMIENTO GENERAL.....	28
6.1.2. SELECCIÓN DEL ACTUADOR.....	31
6.1.2.1. CONEXIÓN Y CONTROL DEL ACTUADOR LINAK LA14. ....	35
6.1.3. DIMENSIONAMIENTO DE PERFIL ESTRUCTURAL .....	39

6.2.	ELEMENTOS ESTRUCTURALES.....	42
6.2.1.	BASE ESTRUCTURAL.....	42
6.3.	MATERIALES COMERCIALES.....	43
6.3.1.	PERFILERIA.....	43
6.3.2.	RODAMIENTOS.....	44
6.3.3.	PEDAL.....	45
6.4.	OPTIMIZACIÓN Y PRESENTACIÓN DEL DISEÑO.....	46
6.4.1.	ETAPA 1 DEL DISEÑO.....	46
6.4.2.	ETAPA 2 DEL DISEÑO.....	48
6.4.3.	PRESENTACIÓN DEL DISEÑO.....	48
6.6.	ANÁLISIS ESTRUCTURAL.....	52
6.6.1.	CONFIGURACIÓN DE MALLA.....	52
6.6.2.	ANALISIS DE BASE ESTRUCTURAL.....	53
6.6.3.	ANÁLISIS DEL SOPORTE PARA LOS EJES HORIZONTALES.....	54
6.6.4.	ANÁLISIS DE LOS EJES HORIZONTALES.....	54
6.6.5.	ANÁLISIS DE LOS SOPORTES DE BRAZOS Y RIELES GUÍAS.....	56
6.6.6.	ANALISIS DE BRAZOS PARTE 1.....	57
6.6.7.	ANÁLISIS DE BRAZOS PARTE 2.....	58
6.6.8.	REFINAMIENTO DE LA MALLA – PIEZA CRÍTICA.....	59
7.	RESULTADOS.....	65
7.1.	ANÁLISIS MORFOLÓGICO DE DISEÑO.....	65
7.2.	ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y DE ELEMENTOS FINITOS.....	65
7.3.	EVALUACIÓN GENERAL.....	65
8.	RECOMENDACIONES.....	65
8.1.	PRUEBAS EXPERIMENTALES.....	65
8.2.	OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO.....	65
8.3.	ESTUDIO DE MERCADO Y VIABILIDAD ECONÓMICA.....	65
8.4.	INTEGRACIÓN DE TECNOLOGÍA.....	66
8.5.	CERTIFICACIONES Y NORMATIVAS.....	66
8.6.	COLABORACIÓN INTERDISCIPLINARIA.....	66
8.7.	RETROALIMENTACIÓN Y MEJORA CONTINUA.....	66
9.	CONCLUSIONES.....	67

10. REFERENCIAS.....	68
----------------------	----

## TABLA DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1</i> Press de banca contracción del codo [8].....	14
<i>Ilustración 2</i> Press de banca extensión del codo.[8].....	14
<i>Ilustración 3</i> Nautilus Nitro Plus Incline Press [19].....	17
<i>Ilustración 4</i> Sistema Tonal [20].....	18
<i>Ilustración 5</i> Sistema Tonal [20].....	18
<i>Ilustración 6</i> Black Box VR [21].....	18
<i>Ilustración 7</i> Pesa ajustable "JaxJox KettlebellConnect 2.0" [22].....	19
<i>Ilustración 8</i> Aplicativo para "JaxJox KettlebellConnect 2.0" [22].....	19
<i>Ilustración 9</i> Hammer Strength ISO-Lateral Bench Press [23].....	19
<i>Ilustración 10</i> Life Fitness Cable Crossover Machine [23].....	20
<i>Ilustración 11</i> Air250 Seated Chest Press [24].....	20
<i>Ilustración 12</i> Cybex VR1 Chest Press [25].....	21
<i>Ilustración 13</i> Alternativa 1 [Autor].....	25
<i>Ilustración 14</i> Alternativa 2 [Autor].....	26
<i>Ilustración 15</i> Alternativa 3 [Autor].....	26
<i>Ilustración 16</i> Indicación de medida promedio entre punta del dedo medio a palma de la mano. [Autor]..	30
<i>Ilustración 17</i> Representación del movimiento realizado en el ejercicio press plano [27].....	31
<i>Ilustración 18</i> Representación del movimiento simulado [Autor].....	32
<i>Ilustración 19</i> Medidas simuladas para estimar el rango de movimiento del asistente [Autor].....	32
<i>Ilustración 20</i> Press plano con asistente. [28].....	33
<i>Ilustración 21</i> Remo con mancuernas.[29].....	33
<i>Ilustración 22</i> Dimensiones del actuador LINAK LA 14.....	34
<i>Ilustración 23</i> Conexión en paralelo para actuador LINAK LA 14.....	35
<i>Ilustración 24</i> Vista isométrica ubicación de sistema de control [Autor].....	36
<i>Ilustración 25</i> Vista frontal ubicación de sistema de control [Autor].....	36
<i>Ilustración 26</i> Vista lateral ubicación de sistema de control [Autor].....	36
<i>Ilustración 27</i> Distribución de cableado para conexión del sistema de control [Autor].....	37
<i>Ilustración 28</i> Siemens LOGO! [30].....	38
<i>Ilustración 29</i> Crouzet Millenium3 [31].....	38
<i>Ilustración 30</i> Mitsubishi ALPHA2 [32].....	39
<i>Ilustración 31</i> Brazo de elevación (primera versión) [Autor].....	39
<i>Ilustración 32</i> Primer configuración inercial del brazo [Autor].....	40
<i>Ilustración 33</i> Segunda configuración inercial del brazo [Autor].....	40
<i>Ilustración 34</i> Situación del perfil en voladizo [Autor].....	41
<i>Ilustración 35</i> Brazo de elevación optimizado (segunda versión) [Autor].....	42
<i>Ilustración 36</i> Base estructural [Autor].....	43
<i>Ilustración 37</i> Distribuidor de perfilería Ferropaz [33].....	43
<i>Ilustración 38</i> Almacén de cadena de construcción HOMECENTER [34].....	43
<i>Ilustración 39</i> Catalogo de rodamientos lineales [35].....	44
<i>Ilustración 40</i> Catálogo de activador tipo pedal KAP SP [36].....	45
<i>Ilustración 41</i> Sistema de apertura [Autor].....	46
<i>Ilustración 42</i> Sistema de sujeción [Autor].....	46
<i>Ilustración 43</i> Dispositivo de activación [Autor].....	46

<i>Ilustración 44 Sujeción a barra mientras se realiza el ejercicio [37]</i> .....	46
<i>Ilustración 45 Topes de seguridad en rieles guías verticales [Autor]</i> .....	47
<i>Ilustración 46 Configuración del brazo predefinida para el diseño [Autor]</i> .....	47
<i>Ilustración 47 Configuración optimizada del diseño [Autor]</i> .....	48
<i>Ilustración 48 Vista isométrica del asistente [Autor]</i> .....	48
<i>Ilustración 49 Vista frontal del asistente [Autor]</i> .....	49
<i>Ilustración 50 Vista lateral del asistente [Autor]</i> .....	49
<i>Ilustración 51 Ubicación del centro de gravedad en software [Autor]</i> .....	50
<i>Ilustración 52 Asignación de materiales en software [Autor]</i> .....	51
<i>Ilustración 53 Configuración de malla para el análisis estructural [Autor]</i> .....	52
<i>Ilustración 54 Adición de nervio refuerzo [Autor]</i> .....	61
<i>Ilustración 55 Refinamiento de malla una vez agregado el nervio de refuerzo [Autor]</i> .....	62
<i>Ilustración 56 Áreas críticas seleccionadas para el refinamiento de malla [Autor]</i> .....	62
<i>Ilustración 57 Análisis de esfuerzo por Von Mises con refinamiento de malla [Autor]</i> .....	63
<i>Ilustración 58 Análisis de esfuerzo en ubicación crítica por Von Mises [Autor]</i> .....	63
<i>Ilustración 59 Factor de seguridad en ubicación crítica [Autor]</i> .....	64

## TABLA DE TABLAS

<i>Tabla 1 Análisis Morfológico [Autor].....</i>	<b><i>¡Error! Marcador no definido.</i></b>
<i>Tabla 2 Aplicación método de Pugh [Autor].....</i>	<i>27</i>
<i>Tabla 3 Indicaciones de las medidas tomadas acorde a la tabla de promedios [26]......</i>	<i>29</i>
<i>Tabla 4 Promedio de medidas antropométricas de hombres en un rango de 20 a 29 años [26].....</i>	<i>29</i>
<i>Tabla 5 Datasheet del actuador LINAK LA 14.....</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 6 Resultados ecuaciones aprovechamiento inercial [Autor].....</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 7 Definición funcional del diseño [Autor].....</i>	<b><i>¡Error! Marcador no definido.</i></b>
<i>Tabla 8 Pesos que soporta la estructura base por brazo del asistente [Autor].....</i>	<i>51</i>
<i>Tabla 9 Materiales configurados por cada parte del asistente [Autor].....</i>	<i>52</i>
<i>Tabla 10 Análisis estructural de la base [Autor].....</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 11 Análisis estructural del soporte para los ejes horizontales [Autor]. .....</i>	<i>54</i>
<i>Tabla 12 Análisis estructural de los ejes horizontales de apertura [Autor]. .....</i>	<i>55</i>
<i>Tabla 13 Análisis estructural de soportes de brazos y rieles guía [Autor]. .....</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 14 Análisis estructural de brazos parte 1 [Autor]. .....</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 15 Análisis estructural de brazos parte 2 [Autor]. .....</i>	<i>59</i>
<i>Tabla 16 Refinamiento de malla manual en pieza crítica [Autor]. .....</i>	<i>60</i>

## 1. INTRODUCCIÓN

En el presente, se ha observado un incremento notable en la adopción de un estilo de vida fitness, motivado por la creciente obsesión por alcanzar la denominada "perfección corporal" y la valoración de los estándares de belleza física en nuestra sociedad. Además, la pandemia del COVID-19 ha generado una mayor conciencia sobre la relevancia de adoptar hábitos de vida saludables como medio para mejorar el estado general de salud [1][2].

La evidencia respalda que mantener una rutina constante de ejercicio no solo mejora la calidad de vida, sino también la autoestima debido a la transformación física y la salud mental. En este contexto, los centros de acondicionamiento físico y los gimnasios desempeñan un papel fundamental [3].

Estas instalaciones ofrecen equipos especializados y personal capacitado para facilitar los entrenamientos de sus usuarios. Entre las diversas modalidades de entrenamiento, los levantamientos de peso libre destacan por su efectividad, estos ejercicios implican levantar pesos sin asistencia utilizando barras y discos de peso. Los movimientos y técnicas específicas varían según el grupo muscular trabajado. Por ejemplo, para fortalecer los pectorales y hombros se utilizan bancos planos, inclinados o declinados.

Aunque los levantamientos de peso son altamente efectivos, existe un factor de riesgo asociado en caso de fallo muscular durante el ejercicio. Este riesgo se manifiesta cuando se intenta levantar cargas pesadas y se alcanza un punto de agotamiento muscular surgiendo el temor natural de no poder controlar el peso y quedar atrapado debajo de la carga sin poder continuar con el ejercicio.

Muchas veces, este factor de riesgo es auto inducido por el usuario siendo una manifestación psicológica que se ve solventada cuando se cuenta con un compañero(a) de entrenamiento que asista en las últimas repeticiones. Para el usuario acostumbrado, por diferentes motivos, a entrenar sin compañía ve limitada su auto exigencia al tratar de demandar incremento de peso en sus entrenamientos por los motivos explicados previamente.

Por este motivo, la necesidad de un asistente que lo apoye en los momentos críticos del ejercicio es muchas veces necesario, de esta manera se pueden evitar accidentes e incentivar la confianza en el progreso del ejercicio.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GENERAL**

Diseñar un dispositivo que asista al usuario en la realización de ejercicios en entrenamiento de fuerza en banco plano para pectorales y hombros al fallo muscular.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Definir los requerimientos de ingeniería del dispositivo a diseñar.
- Realizar una revisión del estado del arte de dispositivos similares y plantear las alternativas de diseño.
- Realizar el diseño en detalle del dispositivo en base a los requerimientos establecidos.

### 3. MARCO REFERENCIAL

#### 3.1. MARCO CONCEPTUAL

El banco de ejercicios es un equipo de entrenamiento utilizado para realizar ejercicios de fuerza. Se compone de una estructura con un respaldo ajustable y una superficie plana que brinda soporte y estabilidad al usuario durante el entrenamiento. Los pectorales son un grupo muscular ubicado en la parte delantera del tórax, compuesto por el pectoral mayor y el pectoral menor. Los ejercicios enfocados en pectorales buscan fortalecer y desarrollar estos músculos, mejorando la apariencia y la fuerza de la parte superior del cuerpo.

- **Gimnasio convencional:** Conocido también como tradicional es el tipo de gimnasio que posee máquinas para hacer ejercicio cardiovascular como bicicletas *spinning*, trotadoras, elípticas entre otras; con máquinas y elementos de musculación (pesas). En estas instalaciones se puede asistir y entrenar cualquier grupo muscular deseado, dependiendo de las máquinas y los ejercicios realizados. [4]
- **Gimnasio Boutique:** Se prioriza el entrenamiento funcional además de poseer dentro de sus instalaciones bares o restaurantes en los que se oferta comida saludable que contribuya con la dieta de los suscriptores. [4]
- **Fitness:** Se entiende como un estado de salud y bienestar físico que se consigue llevando un estilo de vida saludable apoyada en ejercicio continuo cronometrado y una dieta saludable. Como segundo enfoque, el fitness también se define en hacer ejercicios que se repiten varias veces a la semana para lograr un buen estado físico. Normalmente, estos ejercicios se realizan en espacios deportivos específicos, como gimnasios.[5]
- **Levantamiento de peso:** El entrenamiento de fuerza o entrenamiento con pesas es una forma popular de ejercicio en el que se usa la gravedad (a través de discos, pesas, máquinas de poleas y/o palancas) para contrarrestar la contracción muscular. Realizado correctamente, el entrenamiento con pesas puede proporcionar beneficios funcionales significativos, tales como: aumentar el tono muscular, aumentar la masa muscular, ayudar a perder peso y mejorar la salud y el bienestar en general. [6]
- **Press de banca:** Es un ejercicio enfocado al fortalecimiento de la parte superior del tronco, específicamente el pectoral y los hombros, resultado de un movimiento muy conocido por todos los usuarios de las salas de musculación. Se trata de un ejercicio de presión realizado con los miembros superiores que implica principalmente la articulación gleno-humeral, allí se combinan los movimientos de flexión que, en combinación con el movimiento de extensión de la articulación del codo, da como resultante el movimiento lineal propio de este ejercicio como se muestra en las siguientes imágenes. [7]



*Ilustración 1 Press de banca contracción del codo [8] Ilustración 2 Press de banca extensión del codo.[8]*

- **Sobrecarga progresiva:** Es el aumento continuo y gradual del esfuerzo al que se somete el cuerpo y específicamente el grupo muscular que se busca mejorar, esto se varía con la carga o el peso que se esté levantando en el ejercicio. [9]
- **Fallo muscular:** consiste en llevar al músculo a su máxima capacidad realizando combinaciones entre peso y repeticiones en cada serie realizada, se llega al fallo muscular cuando ya se es incapaz de realizar otra repetición en la serie del ejercicio. [9]
- **Asistente o auxiliar de entrenamiento:** es toda aquella persona que mientras se realizan los ejercicios brinda un apoyo en el momento que se alcance el fallo muscular; se denomina como tal a un compañero de entrenamiento o a los entrenadores especializados que acompañan en el proceso. [10]
- **El rango de movimiento (ROM):** Es el alcance completo de movimiento de una articulación o grupo muscular específico. En el diseño de la máquina asistente, es fundamental considerar el ROM requerido para los ejercicios de pectorales y asegurarse de que la máquina permita un ROM adecuado y seguro para el usuario, evitando posibles lesiones y permitiendo un entrenamiento efectivo. [10]
- **La seguridad biomecánica:** Implica la aplicación de los principios biomecánicos para evitar lesiones y minimizar los riesgos durante la realización de ejercicios. En el diseño de la máquina asistente, es esencial tener en cuenta la seguridad biomecánica al identificar y mitigar posibles tensiones o cargas excesivas en las articulaciones y músculos involucrados en los ejercicios de pectorales, garantizando así la seguridad y protección del usuario. [10]
- **Anatomía muscular:** Es el estudio de la estructura y función de los músculos del cuerpo humano. Comprende el conocimiento detallado de los diferentes grupos musculares, su ubicación, inserción, acción y relación con las articulaciones. En el contexto de los ejercicios de pectorales, es importante tener un conocimiento sólido de la anatomía muscular para entender cómo se activan y se trabajan los músculos pectorales durante los ejercicios. [11]

- **Palancas musculares:** Se refieren al principio biomecánico en el cual los músculos, los huesos y las articulaciones actúan como palancas para generar movimiento. En el caso de los ejercicios de pectorales, las palancas musculares se utilizan para mover los brazos y ejercer fuerza sobre los músculos pectorales, permitiendo el levantamiento y la contracción de los mismos. [11]
- **Fatiga muscular:** Es la disminución de la capacidad de un músculo para generar fuerza o mantener un rendimiento óptimo durante el ejercicio. Puede deberse a la acumulación de metabolitos, la falta de energía o el agotamiento de los recursos necesarios para el funcionamiento muscular. En el diseño de la máquina asistente, es importante considerar la fatiga muscular y asegurarse de proporcionar un sistema de asistencia que permita al usuario mantener una forma adecuada y segura incluso en condiciones de fatiga. [11]
- **Estabilidad postural:** Se refiere a la capacidad del cuerpo para mantener un equilibrio adecuado durante el movimiento y la realización de ejercicios. En el diseño de la máquina asistente, se deben tener en cuenta los principios de estabilidad postural para garantizar que el usuario mantenga una postura estable y segura durante los ejercicios de pectorales, minimizando el riesgo de lesiones y optimizando los resultados del entrenamiento. [11]

### 3.2. MARCO TEORICO

- **Diseño de máquinas:** Es el proceso de crear equipos de entrenamiento de fuerza que sean seguros, efectivos y ergonómicos. Esto implica la selección adecuada de materiales, consideración de factores de diseño como estabilidad, ajustabilidad, y optimización del movimiento y la funcionalidad del equipo. [12]
- **CAD (*Computer aided design*):** El diseño asistido por computadora es una herramienta integral utilizada por profesionales en ingeniería, arquitectura y diseño. Este sistema se basa en software especializado que permite la creación, modificación y análisis de representaciones virtuales de productos o estructuras antes de su fabricación física. La esencia del CAD radica en la capacidad para desarrollar modelos tridimensionales (3D), facilitando la visualización detallada y la evaluación precisa de diseños. Este enfoque computacional optimiza el proceso de diseño al proporcionar a los diseñadores la capacidad de iterar rápidamente y mejorar sus creaciones. [13]
- **CAE (*Computer aided engineering*):** La ingeniería asistida por computadora se centra en la aplicación de herramientas computacionales para llevar a cabo análisis y simulaciones avanzadas en el ámbito de la ingeniería. Estas simulaciones abarcan diversas áreas, desde pruebas de resistencia y dinámica hasta evaluaciones térmicas y de flujo. La CAE desempeña un papel crucial al permitir a los ingenieros evaluar el rendimiento y la viabilidad de un diseño antes de pasar a la fase de producción física. Al realizar análisis detallados, la CAE

contribuye a la toma de decisiones informada, reduciendo costos y mejorando la eficiencia en el proceso de desarrollo. [13]

- **Método de Elementos Finitos (FEA):** Es una técnica numérica clave en ingeniería que descompone sistemas complejos en elementos geométricos más pequeños para realizar análisis detallados. Cada "elemento finito" se modela y analiza individualmente, permitiendo la evaluación precisa del comportamiento de estructuras ante diversas condiciones como cargas y temperaturas. Al aplicar ecuaciones matemáticas para representar las propiedades del material y las interacciones entre elementos, la FEA proporciona una visión detallada del rendimiento del sistema. Es una herramienta esencial en campos como la ingeniería estructural y aeroespacial, permitiendo la optimización y evaluación de diseños antes de la fabricación física. [14]
- **Ergonomía:** Es un campo que se ocupa del diseño y la disposición de los elementos físicos de un entorno para adaptarlos a las capacidades y limitaciones del usuario. En el contexto del diseño de la máquina asistente, la ergonomía implica la creación de un equipo que se ajuste cómodamente al usuario y permita un movimiento natural y seguro durante los ejercicios de pectorales. [15]
- **Resistencia variable:** Es la capacidad de ajustar la carga o resistencia aplicada durante un ejercicio. En el caso de la máquina asistente para banco de ejercicios enfocados en pectorales, proporcionar resistencia variable permitirá adaptar el nivel de dificultad a las necesidades individuales de los usuarios y a su progreso en el entrenamiento. [16]
- **Biomecánica:** Se enfoca en el estudio de los principios mecánicos que gobiernan la estructura y función de los sistemas biológicos, como el cuerpo humano. En el contexto del diseño de la máquina asistente para banco de ejercicios enfocados en pectorales, la biomecánica desempeña un papel crucial al considerar cómo se aplican las fuerzas y cómo se produce el movimiento en el cuerpo durante los ejercicios de pectorales. [16]
- **Actuadores:** Son dispositivos utilizados para convertir señales de control en movimiento o acción física. En otras palabras, son componentes que transforman la información de entrada, como señales eléctricas o comandos, en un cambio físico en el entorno. Estos cambios pueden incluir movimiento, cambio en la posición de un objeto, liberación de sustancias, entre otros. Existen varios tipos de actuadores, cada uno diseñado para realizar tareas específicas. Algunos ejemplos comunes de actuadores incluyen: [17]
  - **Actuadores eléctricos:** Transforman la energía eléctrica en movimiento mecánico. Pueden ser motores eléctricos, servomotores, solenoides, etc. [17]
  - **Actuadores hidráulicos:** Utilizan fluidos incompresibles, como aceite, para generar movimiento. Los cilindros hidráulicos y los motores hidráulicos son ejemplos de actuadores hidráulicos. [17]

- **Actuadores neumáticos:** Utilizan aire comprimido para generar movimiento. Los cilindros neumáticos son un tipo común de actuador neumático. [17]

### 3.3. ESTADO DEL ARTE

En los últimos años, ha habido un aumento significativo en el desarrollo de máquinas asistentes que buscan mejorar el rendimiento de los ejercicios dirigidos al desarrollo de los pectorales. Estas máquinas integran una amplia gama de tecnologías y características para ofrecer una experiencia de entrenamiento más individualizada, interactiva y efectiva. A continuación, se presentan ejemplos destacados de las innovaciones más relevantes en este ámbito, clasificados según sus características y funcionalidades.

Máquinas de resistencia variable: Una de las características principales de las máquinas asistentes para banco de ejercicios de pectorales es ajustar la resistencia de forma precisa. [18] Por ejemplo:

- La máquina “*Nautilus Nitro Plus Incline Press*” cuenta con un sistema de resistencia variable que se ajusta automáticamente según el esfuerzo del usuario. Durante el *press* de pecho inclinado, ofrece asistencia en los puntos de resistencia más difíciles, lo que permite al usuario completar el movimiento de manera efectiva y segura. [19]



Ilustración 3 Nautilus Nitro Plus Incline Press [19]

**Tecnología de seguimiento de movimiento:** Algunas máquinas asistentes utilizan sensores o cámaras integradas para rastrear y analizar el movimiento del usuario durante el ejercicio. Esto permite proporcionar retroalimentación en tiempo real sobre la técnica, el rango de movimiento y la calidad del ejercicio. Por ejemplo:

- El sistema "Tonal", que utiliza resistencia electromagnética y sensores para guiar y controlar el entrenamiento de pectorales. [20]



Ilustración 4 Sistema Tonal [20]



Ilustración 5 Sistema Tonal [20]

**Realidad virtual (VR) y realidad aumentada (AR):** La integración de estas tecnologías en máquinas asistentes ha brindado nuevas formas de enriquecer la experiencia de entrenamiento de pectorales. Por ejemplo:

- *"Black Box VR"* ofrece una experiencia de entrenamiento inmersiva en realidad virtual, donde los usuarios pueden participar en desafíos virtuales específicos para los pectorales y recibir retroalimentación en tiempo real sobre su rendimiento. [21]

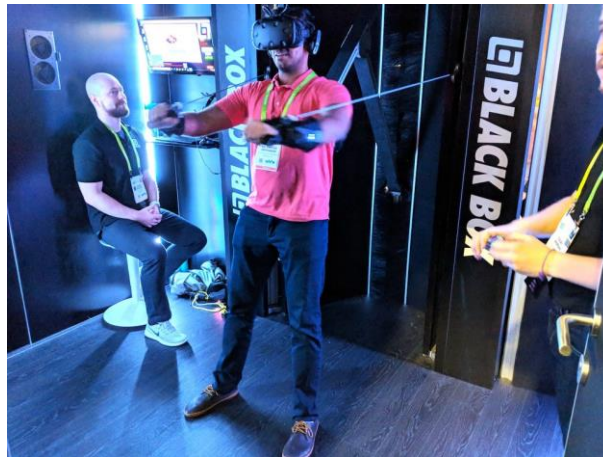


Ilustración 6 Black Box VR [21]

**Integración con aplicaciones móviles:** La conectividad con aplicaciones móviles permite la aparición de programas de entrenamiento personalizados, seguimiento del progreso y consejos adicionales. Por ejemplo:

- La pesa ajustable *"JaxJox KettlebellConnect 2.0"* se sincroniza con una aplicación móvil que permite a los usuarios seleccionar niveles de resistencia y

acceder a programas de entrenamiento específicos para los pectorales, además de ofrecer instrucciones detalladas y seguimiento del progreso. [22]



Ilustración 7 Pesa ajustable "JaxJox KettlebellConnect 2.0" [22]



Ilustración 8 Aplicativo para "JaxJox KettlebellConnect 2.0" [22]

**Diseño ergonómico y ajustable:** Es una característica importante en las máquinas asistentes para banco de ejercicios de pectorales. Por ejemplo:

- El "*Hammer Strength ISO-Lateral Bench Press*" utiliza un sistema de contrapeso ajustable para simular el movimiento de *press* de pecho con mancuernas. Con su diseño de brazo articulado, ofrece una experiencia similar a la del entrenamiento con pesas libres, mientras proporciona asistencia controlada para adaptarse al nivel de fuerza del usuario. [23]



Ilustración 9 Hammer Strength ISO-Lateral Bench Press [23]

A continuación, se enlistan algunos ejemplos de máquinas asistentes:

- ***Life Fitness Cable Crossover Machine with Assisted Pectoral Fly:*** Esta máquina combina un sistema de cable crossover con una función de vuelo pectoral asistido. Permite ajustar la cantidad de asistencia proporcionada

durante el ejercicio de vuelo pectoral, lo que facilita la concentración en los pectorales y reduce la carga en los músculos estabilizadores. [23]



*Ilustración 10 Life Fitness Cable Crossover Machine [23]*

- **Keiser Air Press: Air250 Seated Chest Press** utiliza tecnología de resistencia neumática para ajustar la carga. Al adaptarse al esfuerzo del usuario, proporciona asistencia proporcional durante el *press* de pecho, lo que permite un entrenamiento más dinámico y efectivo. [24]



*Ilustración 11 Air250 Seated Chest Press [24]*

- **Cybex VR1 Chest Press:** es una máquina de prensa de pecho asistida ofrece un sistema de contrapeso ajustable. El usuario puede seleccionar la cantidad de asistencia deseada, lo que permite un entrenamiento progresivo y personalizado según sus necesidades y capacidades. [25]



*Ilustración 12 Cybex VR1 Chest Press [25]*

Cabe destacar que estos ejemplos son solo una muestra de las máquinas asistentes disponibles en el mercado y que el campo continúa evolucionando.

#### **4. ESPECIFICACIONES DE DISEÑO**

##### **4.1. MANUFACTURACIÓN:**

Los componentes principales de la máquina deben fabricarse utilizando materiales de alta calidad y durabilidad, con preferencia por aleaciones ligeras de aluminio y acero inoxidable para garantizar resistencia y bajo mantenimiento.

##### **4.2. FACILIDAD DE MANIPULACIÓN:**

El diseño debe permitir que sea fácil de operar, con controles intuitivos y accesibles. Se deben minimizar los puntos de fricción y asegurar un movimiento suave de los elementos móviles.

##### **4.3. FACILIDAD DE MANTENIMIENTO:**

Incluir puntos de acceso para facilitar la inspección y el mantenimiento. Los componentes sujetos a desgaste deben ser fácilmente reemplazables, y el acceso a las partes internas debe ser sencillo mediante paneles o mecanismos de apertura rápida.

##### **4.4. CANTIDAD DE COMPONENTES:**

Minimizar la cantidad de componentes para simplificar la fabricación y reducir posibles puntos de fallo. Se prioriza la eficiencia sin comprometer la funcionalidad y durabilidad.

##### **4.5. RIGIDEZ DE LA ESTRUCTURA:**

La estructura principal debe ser robusta y diseñada para resistir las cargas asociadas con el *press* plano. Se deben utilizar técnicas de análisis de elementos finitos para garantizar la rigidez y la estabilidad durante la operación.

##### **4.6. ACTIVACIÓN DEL MECANISMO:**

La activación del mecanismo debe ser precisa y controlable. Se considera el uso de actuadores hidráulicos o neumáticos para asegurar un movimiento suave y una respuesta rápida.

#### **4.7. GRADUACIÓN ERGONÓMICA:**

Incorporar ajustes ergonómicos para adaptarse a diferentes usuarios, considerando la altura y posición del asiento, así como la ubicación de los controles. La máquina debe ser adecuada para usuarios de distintas complexiones físicas.

#### **4.8. SEGURIDAD:**

Cumplir con estándares de seguridad industrial con mecanismos de parada de emergencia y protecciones específicas que pueden prevenir atrapamientos y lesiones durante la operación.

#### **4.9. MECANISMO IMPULSOR:**

Se busca que sea eficiente y potente, por lo que se considera la utilización de motores eléctricos de alta capacidad y sistemas de transmisión adecuados para garantizar una respuesta rápida y un rendimiento consistente.

## 5. DISEÑO CONCEPTUAL

En el proceso de representación y esquematización del diseño conceptual de la máquina asistente, se emplea el método de análisis morfológico con descomposición funcional. Este consiste en desglosar las subfunciones que la máquina debe realizar, partiendo de que el requerimiento principal es "Asistir a los usuarios que estén realizando ejercicios de *press* para pectorales al fallo muscular".





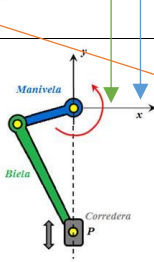
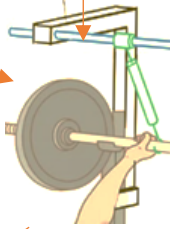

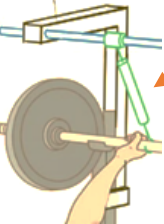





El análisis morfológico es una herramienta crucial en el inicio del proceso de desarrollo, ayudando a generar ideas y opciones de diseño. Facilita la comparación de alternativas considerando viabilidad técnica, factibilidad económica y requisitos. Aplicado al diseño de una máquina asistente para ejercicios de *press* de pecho, descompone subfunciones para comprender los componentes esenciales. Cada propuesta de diseño resultante es documentada y visualizada, permitiendo una evaluación descendente basada en criterios preestablecidos. Esta metodología fomenta la creatividad y soluciones innovadoras, culminando en la selección de la mejor alternativa de diseño, en la **tabla 1** se representa la metodología para este estudio.

Como objeto principal se requiere de un equipo práctico y adaptable a cualquier banco plano de gimnasio, se estima una fuerza requerida de tracción de 300 Newton en el momento que el usuario llegue al fallo muscular, se ubique la barra en el asistente y se active el sistema, esta activación debe ser semiautomática con y sencilla, ya sea a la mano o al pie del usuario

### 5.1. PRESENTACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

El análisis morfológico se utilizó como una herramienta fundamental para explorar y representar las diversas alternativas de diseño del dispositivo asistente para ejercicios de *press* plano en gimnasios. Se identificaron y desglosaron los diferentes elementos clave de este dispositivo, permitiendo así la creación de combinaciones y representaciones de solución, en este caso se determinan 3 alternativas como se indican en la siguiente tabla.

Tabla 1 Análisis Morfológico [Autor]

ANÁLISIS MORFOLÓGICO			
Producto: Maquina Asistente de Press		Presentante: Andrés Felipe Rincón Maestre	
Función General:	Apoyar al usuario cuando esté realizando el ejercicio de <i>press</i> en banco plano para pectorales y llegue al fallo muscular, la maquina se encargará de apoyar en la última repetición del usuario asistiéndolo en el levantamiento de la barra.		
Alternativas:	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Subfunciones	Concepto 1	Concepto 2	Concepto 3
1. Transmisión de potencia para el levantamiento.			
2. Sistema de movimiento del asistente.			
3. Estructura base del asistente.			
4. Fijación de la base estructural			
5. Tipo de rodamiento guía.			

### 5.1.1. ALTERNATIVA 1

Se plantea el concepto del asistente como una estructura adaptable a bancos planos con una base compuesta por 2 soportes donde descansa la barra.

Se propone como opción de mecanismo de tracción un sistema de resortes o ligas elásticas, considerando la posibilidad de incluir un actuador como mejora opcional. Además, se prevé fijar al banco con 2 tornillos mariposas y adaptar la anatomía del usuario, considerando la variabilidad en el ancho del mecanismo de tracción.

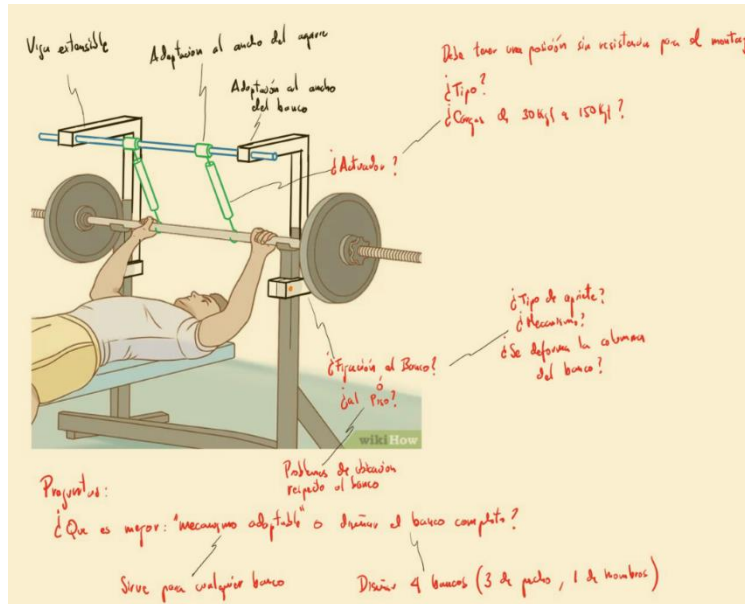
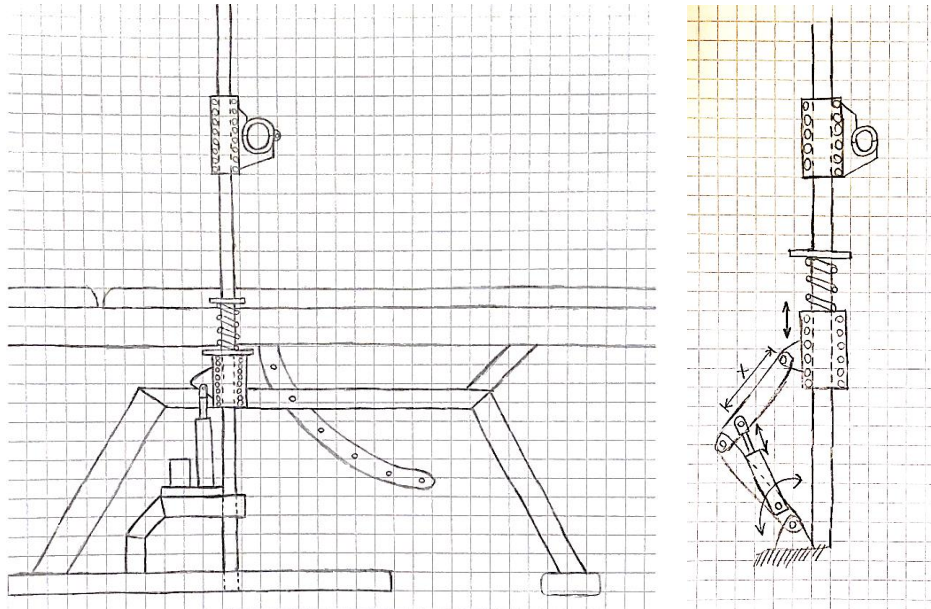


Ilustración 13 Alternativa 1 [Autor]

### 5.1.2. ALTERNATIVA 2

Utiliza una estructura metálica anclada al piso con perfiles rectangulares adecuados a la altura y tipo de banco. En esta configuración, el impulso se logra mediante un actuador, que puede ser neumático, hidráulico o eléctrico.

El actuador se ancla directamente a un rodamiento lineal con guía, lo que garantiza un movimiento perpendicular al banco. Con esta alternativa, surge la posibilidad de configurar el movimiento ampliando la trayectoria del rodamiento mediante un mecanismo de 2 eslabones y una guía lineal.



*Ilustración 14 Alternativa 2 [Autor]*

### 5.1.3. ALTERNATIVA 3

Esta alternativa combina los elementos de las alternativas 1 y 2, y propone una tracción mediante actuadores eléctricos. Se utiliza un diseño de dos brazos configurados con 2 eslabones para maximizar el desplazamiento del rodamiento guía.

En esta configuración, se opta por un rodamiento de tipo bolas con riel guía. El mecanismo se monta sobre una estructura base fijada al piso, la cual está configurada con tubulares rectangulares.



*Ilustración 15 Alternativa 3 [Autor]*

## 5.2. EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

Para realizar la selección se utiliza la matriz de decisión de Pugh. En esta matriz, se asigna una puntuación promedio a cada alternativa en función de su capacidad para cumplir con los criterios de diseño y los requerimientos establecidos.

En la **Tabla 2** adjunta se encuentran los parámetros de selección ponderados de acuerdo con su importancia en el proyecto. Estas ponderaciones se asignan considerando que la suma total de todas ellas debe ser igual a cien. Se otorga la mayor ponderación al ítem relacionado con la facilidad de manipulación de la máquina para su puesta en operación, debido a que la máquina asistente será utilizada en gimnasios donde el rango poblacional es amplio. Por otro lado, se asigna la menor ponderación al transporte de la máquina ya que dispone de ruedas lo que facilita su movimiento.

*Tabla 2 Aplicación método de Pugh [Autor]*

<b>MÉTODO DE SELECCIÓN: PUGH</b>				
<b>Tema:</b> Selección de alternativa ideal para la máquina asistente de ejercicio <i>press</i> plano para pectorales y hombros.				
<b>Criterios</b>	<b>Ponderación</b>	<b>Alternativa 1</b>	<b>Alternativa 2</b>	<b>Alternativa 3</b>
1. Manufacturación.	10	1	-1	0
2. Facilidad de manipulación.	20	0	-1	1
3. Facilidad de mantenimiento.	6	1	-1	0
4. Numero de componentes.	12	1	-1	0
5. Mayor rigidez de la estructura.	12	-1	0	1
6. Facilidad de activación del mecanismo.	10	-1	0	1
7. Facilidad de graduación ergonómica.	8	0	-1	1
8. Seguridad para el usuario.	12	-1	0	1
9. Mecanismo impulsor.	10	-1	0	1
<b>TOTAL:</b>	100	-16	-56	72

Una vez aplicado el método de Pugh se considera como alternativa más adecuada la número tres, debido a que cuenta con la valoración más alta de todas.

## **6. DISEÑO DE DETALLE**

Una vez seleccionado la alternativa número tres como opción adecuada, se realiza el diseño de detalle, para considerar aspectos como la funcionalidad, la compatibilidad, la durabilidad y la eficiencia de los componentes seleccionados.

Para llevar a cabo este proceso, se aprovechan las ventajas de las herramientas computacionales que permiten simular y visualizar el funcionamiento de los componentes, así como realizar análisis estructural para la máquina. El uso de un software especializado en diseño asistido por computadora (CAD) facilita la creación de modelos tridimensionales y el análisis de diseño estructural.

A continuación, se describe el proceso de dimensionamiento de los diferentes componentes del equipo. Se inicia con el brazo que eleva la barra y que cumple la función del brazo de un compañero de entrenamiento. Para ello se parte de la siguiente manera:

### **6.1. BRAZO DE ELEVACIÓN**

El brazo de elevación será el encargado de realizar el movimiento principal de la máquina, en este se encuentra el actuador que será el encargado de realizar la fuerza de tracción y los dos eslabones que proporcionaran el movimiento adecuado para cumplir con el recorrido necesario para la asistencia al usuario.

#### **6.1.1. DIMENSIONAMIENTO GENERAL**

Para determinar el rango de movimiento del mecanismo se toma como referencia el estudio realizado por la universidad de Guadalajara, donde se realiza un muestreo de medidas acorde a los rangos de edades y sexo de las dimensiones antropométricas de la población latinoamericana. Se enfoca la muestra en la población colombiana siendo el sexo masculino el que posee mayor frecuencia en los ejercicios de *press* plano y manejando un rango de edades entre 20 y 29 años. La siguiente ilustración y tabla muestran los datos acordes a la información ya mencionada.

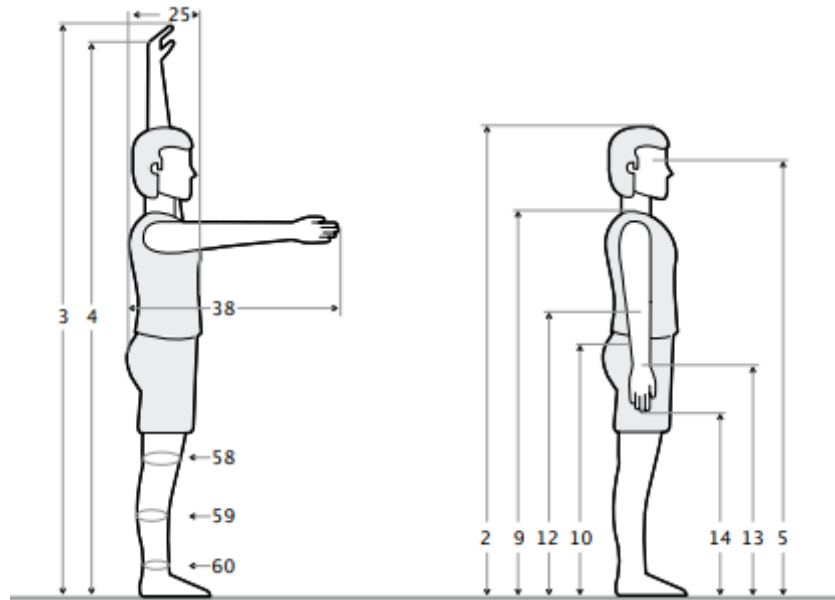


Tabla 3 Indicaciones de las medidas tomadas acorde a la tabla de promedios [26].

Tabla 4 Promedio de medidas antropométricas de hombres en un rango de 20 a 29 años [26].

Dimensiones		20 - 29 años (n= 487)				
				Percentiles		
		$\bar{x}$	D.E.	5	50	95
1	Masa corporal (Kg)	66.9	10.45	52.3	66.0	85.3
2	Estatuta (cm)	170.1	6.52	159.5	169.4	181.1
3	Alcance vertical máximo	214.8	8.81	201.7	214.1	230.6
4	Alcance vertical con asimiento	199.8	8.17	187.5	199.5	213.9
5	Altura de los ojos	159.1	6.36	148.8	158.6	170.4
9	Altura acromial	138.6	5.72	128.8	138.2	148.2
10	Altura cresta ilíaca medial	101.6	4.78	94.1	101.4	109.6
12	Altura radial	107.0	4.57	99.1	106.9	115.0
13	Altura estiloidea	81.7	3.90	75.6	81.6	88.4
14	Altura dactilea dedo medio	63.8	3.44	58.4	63.7	69.9
25	Anchura del tórax	19.5	1.74	16.8	19.5	22.5
38	Alcance anterior brazo	71.4	3.39	66.4	71.3	77.1
58	Perímetro rodilla media	36.1	2.37	32.3	36.0	40.0
59	Perímetro pierna media	35.3	2.59	31.4	35.2	39.9
60	Perímetro supramaleolar	21.6	1.35	19.6	21.6	24.0

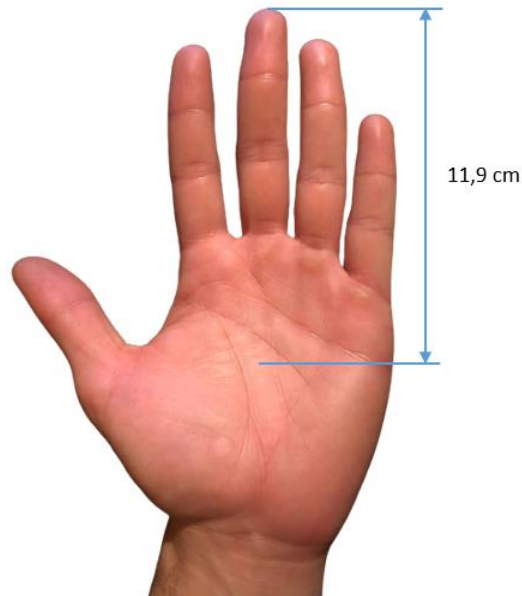
Las medidas estipuladas en el estudio están dadas en centímetros, para el rango de movimiento del asistente se tiene en cuenta el alcance anterior del brazo (38) y la anchura del tórax (25). Acorde al movimiento descrito para el ejercicio de *press* plano que consiste en una flexión de codo llevando la barra al pecho y luego a su posición inicial con el brazo completamente estirado, se puede estimar que el rango de movimiento para este ejercicio es la medida 38 menos la medida 25.

$$X = \text{Alcance anterior brazo} - \text{Anchura del torax}$$

$$X = (71.4 - 19.5) \text{ cm}$$

$$X = 51.9 \text{ cm}$$

A esta medida se le resta 11,9 cm que representa la distancia promedio de la punta del dedo medio a la palma de la mano donde descansa la barra en posición de puño.



*Ilustración 16 Indicación de medida promedio entre punta del dedo medio a palma de la mano. [Autor]*

$$X = (51.9 - 11.9) \text{ cm}$$

$$X = 40 \text{ cm}$$

Siendo 40 cm (400 mm) el rango de distancia promedio que los usuarios recorren al realizar el ejercicio, se usa este valor para el diseño del asistente. Con este rango se determina la configuración dimensional del mecanismo estipulado por 2 eslabones articulados con un riel de guía base que lleva el mecanismo de tracción sobre los eslabones fijos.



*Ilustración 17 Representación del movimiento realizado en el ejercicio press plano [27].*

### **6.1.2. SELECCIÓN DEL ACTUADOR**

Para la selección del actuador contamos con 3 tipos de fuentes para la conversión de la energía en movimiento, los 3 tipos son neumáticos, hidráulicos y eléctricos, se selecciona fuente eléctrica ya que para los neumáticos e hidráulicos se necesita un equipo aparte que suministre la fuente y eso haría que el equipo a diseñar sea robusto y fijo.

Los actuadores eléctricos se adaptan a la situación de la maquina ya que son prácticos, portables y se ajustan a las prestaciones de fuerza, movimiento y velocidad necesarias, a diferencia de los otros tipos de actuadores, la fuente es por cable a cualquier tomacorriente a 110 Voltios, ideal para cualquier gimnasio, también se evita el riesgo de tropezos o cualquier accidente que podría ocasionar un dispositivo robusto aparte del sistema para los usuarios.

Para el dimensionamiento se utilizan 2 situaciones donde el brazo está a su máxima amplitud (rojo) y cuando se encuentra contraído (azul), así mismo se simula el recorrido del actuador a utilizar (verde). Con el sistema de eslabones se busca amplificar el recorrido del actuador, para llegar al cumplimiento del rango requerido de desplazamiento.

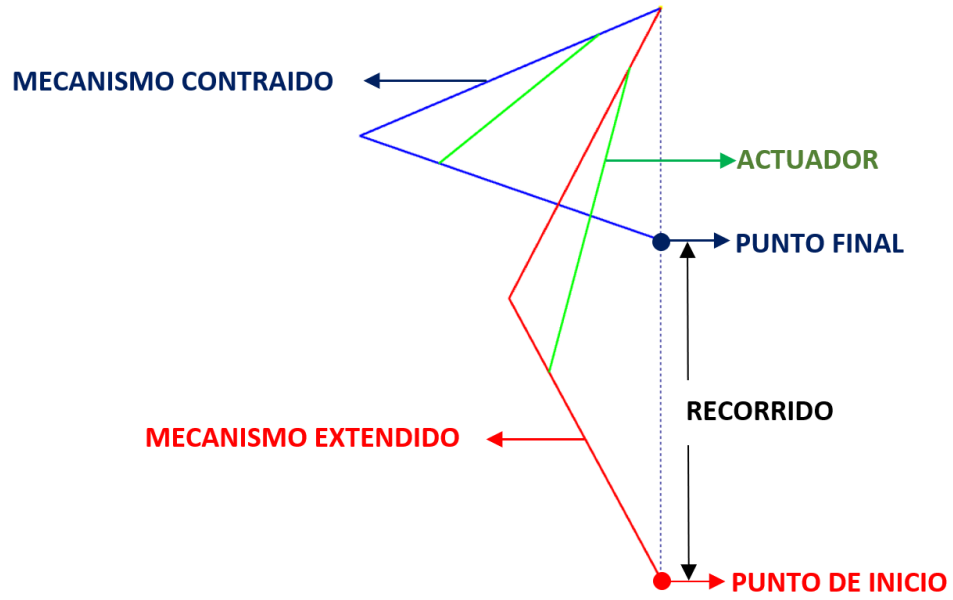


Ilustración 18 Representación del movimiento simulado [Autor]

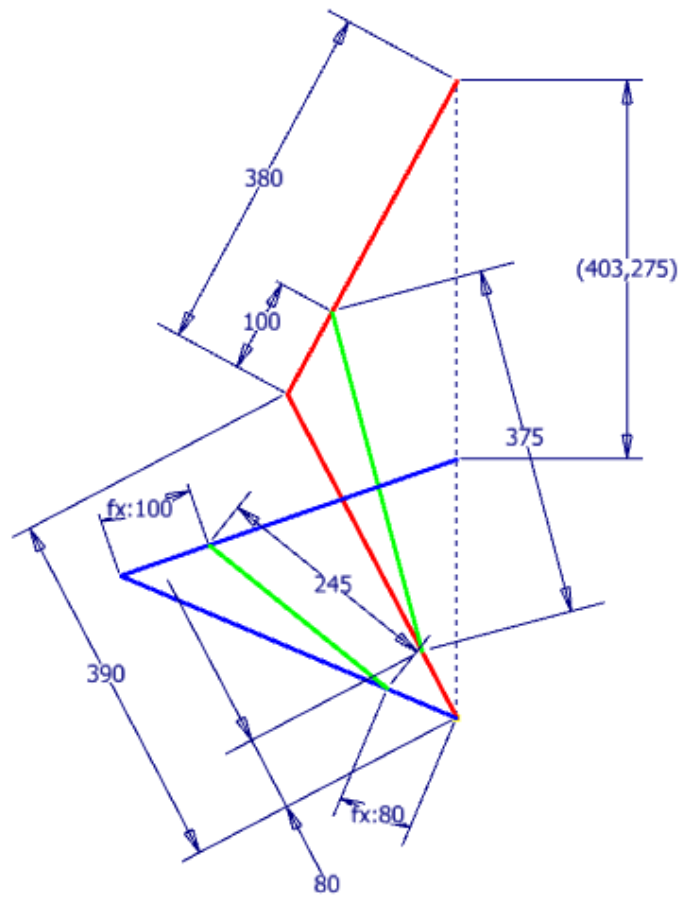


Ilustración 19 Medidas simuladas para estimar el rango de movimiento del asistente [Autor]

Con las posiciones del actuador acorde a las distancias de los eslabones para cumplir con el rango de movimiento se procede a seleccionar el actuador eléctrico acorde a la carrera y un estimado de peso a soportar.

De acuerdo con el criterio obtenido bajo entrevistas al personal calificado de algunos gimnasios y experiencia propia, se estima que al momento de asistir al usuario en su última repetición cerca del fallo muscular, el asistente en promedio puede llegar a ejercer una fuerza cercana a los 20 kg. La forma seleccionada para estimar este valor de fuerza se basa en un ejercicio que se realiza con mancuerna que se denomina “remo”, este consiste en levantar un peso desde el suelo o desde un banco en una posición muy similar a la que adopta el asistente durante el ejercicio del *press* de banco. Dependiendo del nivel de entrenamiento y capacidad de fuerza, un hombre adulto puede levantar fácilmente los 20 Kg. Como se desea que el usuario realice su mayor esfuerzo para completar la última repetición y que el asistente lo ayude lo menos posible para incentivar ruptura de la mayoría de las fibras musculares, se considera que 20 Kg es un valor apropiado y conservador como fuerza que debe realizar el dispositivo.



Ilustración 20 Press plano con asistente. [28]



Ilustración 21 Remo con mancuernas.[29]

Como se muestra en la ilustración 20, el asistente se encarga de ayudar lo menos posible al usuario en la última repetición donde llega al fallo muscular, (20 kg) que al convertirla a unidad de fuerza queda:

$$F = m * g$$

$$F = 20 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F = 196,2 \text{ N}$$

Con los 20 kg que equivalen a **196,2 Newton**, se determina el segundo criterio para la selección del actuador eléctrico. Al realizar una búsqueda de los fabricantes y vendedores a nivel comercial de actuadores eléctricos, donde se obtiene que el más apropiado es el modelo LINAK LA 14 por su excelente calidad y fiabilidad, respaldada por una reputación sólida en la industria, este actuador ofrece un control preciso de la

posición y características versátiles de aplicación, como su diseño adaptable y opciones de montaje flexibles siendo este un factor importante en el diseño del asistente y se adapta con la siguiente configuración:

Tabla 5 Datasheet del actuador LINAK LA 14

TYPE ( )	LA14
SMIN (Speed Min (mm/s))	36
SMAX (Speed Max (mm/s))	43
HUB (Stroke length / mm)	130
HUBST (Stroke / mm)	0
LOAD (Load / N)	300
SAF (Safety)	None
PLA (Platform)	None
FB (Feedback type)	None
MT (Motor Type)	12V DC Fast
ES (End Stop)	Power switch
EOS (End of stroke output)	No EOS
IP (IP Degree)	IP66
COL (Colour)	Dark Olivish Grey NCS S7000-N
INFO (PDF Data Sheet)	<a href="#">PDF Data Sheet</a>
BF (Back Fixture)	0 degree
PRE (Piston Rod Eye)	Ø10,2 zink coated steel
INSDIM (Install Dimensions / mm)	245
BRAKE (Brake)	None
FC (Fire Category)	None
PT (Plug Type)	Flying leads
CAB (Cables)	None
SAFF (Safety Factor)	2.0
FBL (Feedback Level)	None
PM (Parallel Mode)	Only for parallel feedback level
ICPLA ( )	None

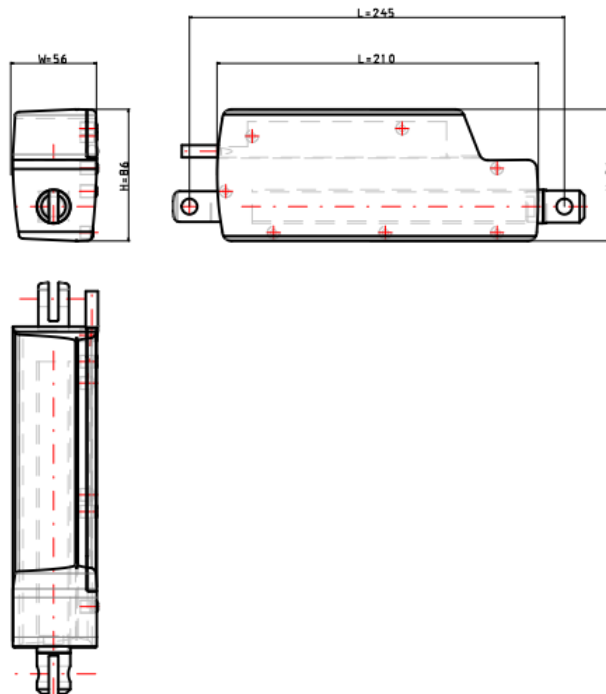


Ilustración 22 Dimensiones del actuador LINAK LA 14

### 6.1.2.1. CONEXIÓN Y CONTROL DEL ACTUADOR LINAK LA14.

Seleccionado el actuador se evidencia que la utilización de un PLC (Controlador Lógico Programable) para sincronizar el funcionamiento de los actuadores en paralelo puede ser una opción válida en ciertas configuraciones y aplicaciones donde se requiera un control más avanzado o una lógica de control compleja. Sin embargo, no es estrictamente necesario utilizar un PLC para lograr la sincronización ya que en este caso, los actuadores están diseñados para trabajar de manera coordinada, estos proporcionan retroalimentación de posición entre ellos a través de la conexión morada como se muestra en la **ilustración 23**.

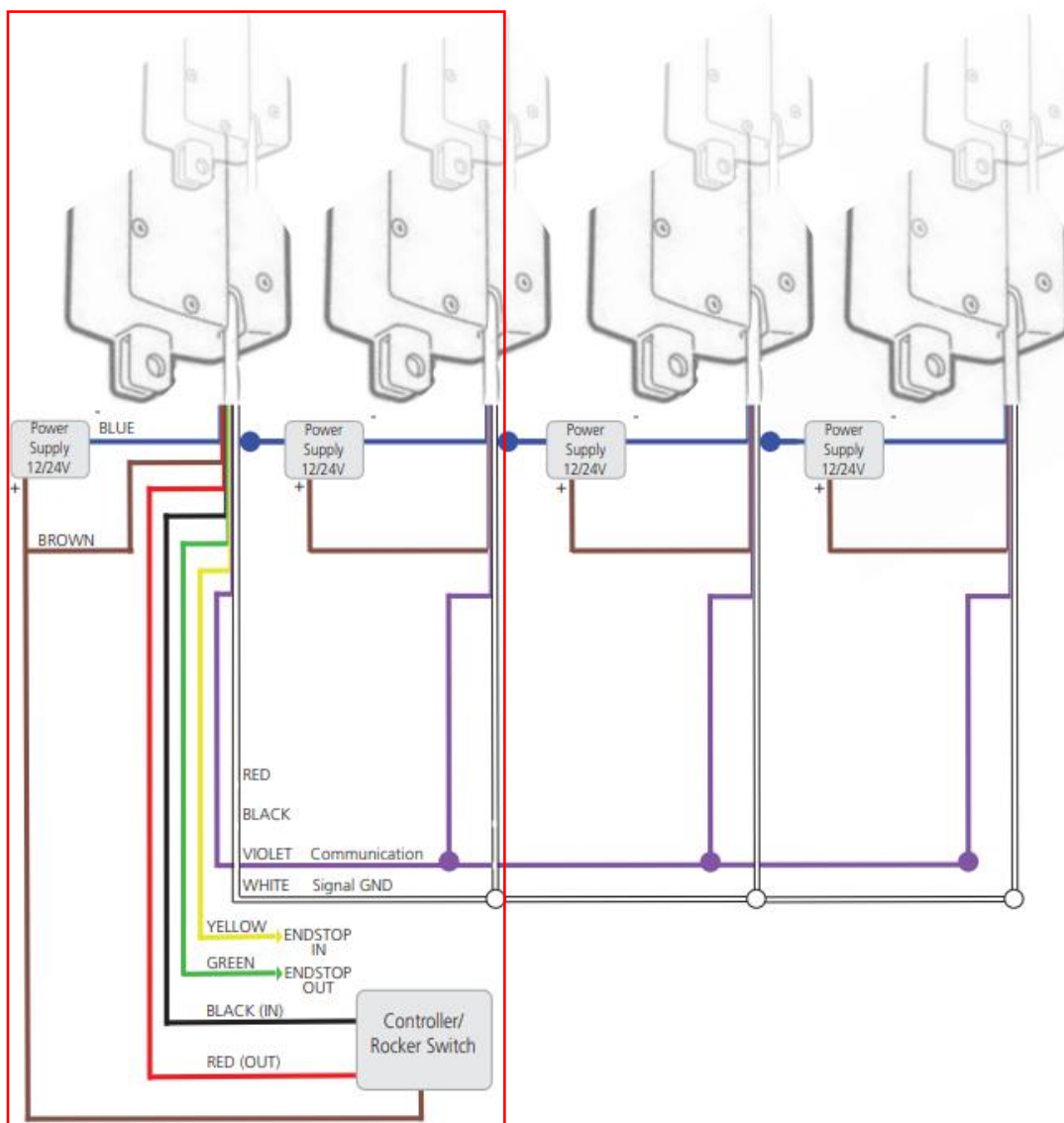
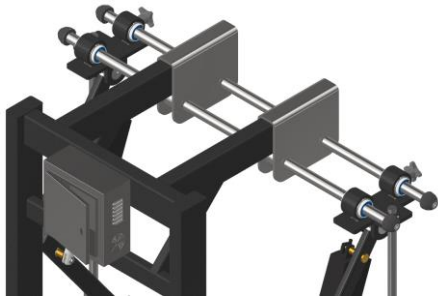


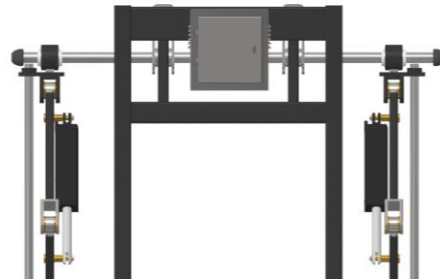
Ilustración 23 Conexión en paralelo para actuador LINAK LA 14

El actuador cuenta con la capacidad de conectar en paralelo hasta 8 unidades, para este caso sólo se utilizarán 2 y la conexión se debe realizar como se demarca en el cuadro rojo.

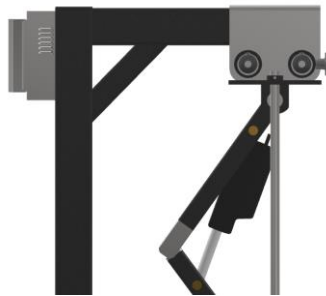
El dispositivo de control tendrá disposición de espacio en la parte superior trasera del asistente, donde no existe riesgo de interferencia y se ubicará la caja para el dispositivo de control.



*Ilustración 24 Vista isométrica ubicación de sistema de control [Autor]*



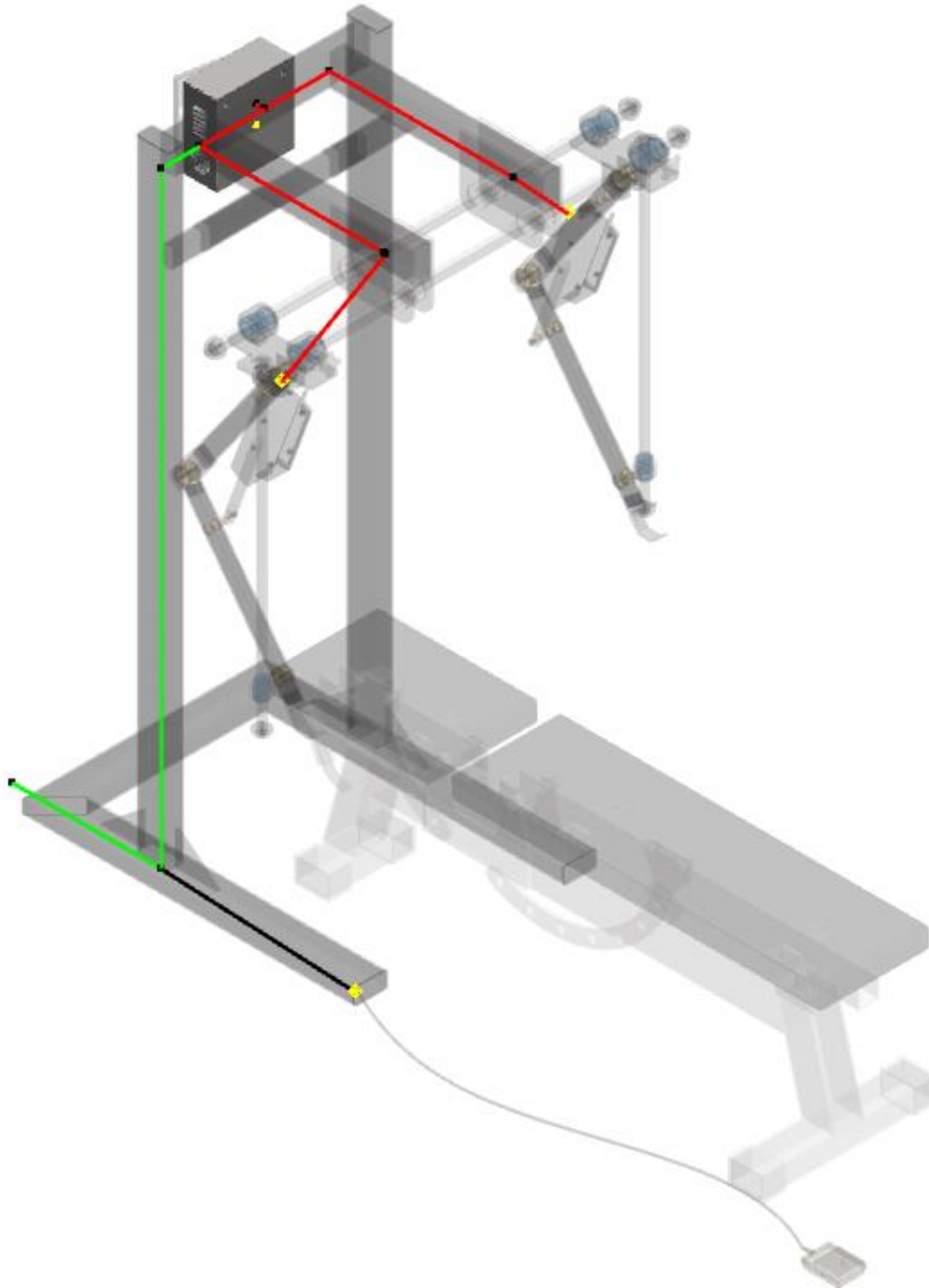
*Ilustración 25 Vista frontal ubicación de sistema de control [Autor]*



*Ilustración 26 Vista lateral ubicación de sistema de control [Autor]*

La distribución del cableado debe ser interna a la perfilera de la estructura base ya que son rectángulos huecos y debe seguir la siguiente trayectoria.

- **Cable rojo:** Distribución a actuadores desde el sistema de control.
- **Cable verde:** Conexión a fuente desde el sistema de control.
- **Cable negro:** Conexión del pedal o activador al sistema de control.



*Ilustración 27 Distribución de cableado para conexión del sistema de control [Autor]*

Si se requiere la utilización de sensores de movimiento para automatizar el sistema, un PLC básico es ideal para el control de los sensores, el pedal de activación, el sistema de control y los actuadores eléctricos. A continuación, se ilustran PLC básicos.



Ilustración 28 Siemens LOGO! [30]



Ilustración 29 Crowzet Millenium3 [31]



*Ilustración 30 Mitsubishi ALPHA2 [32]*

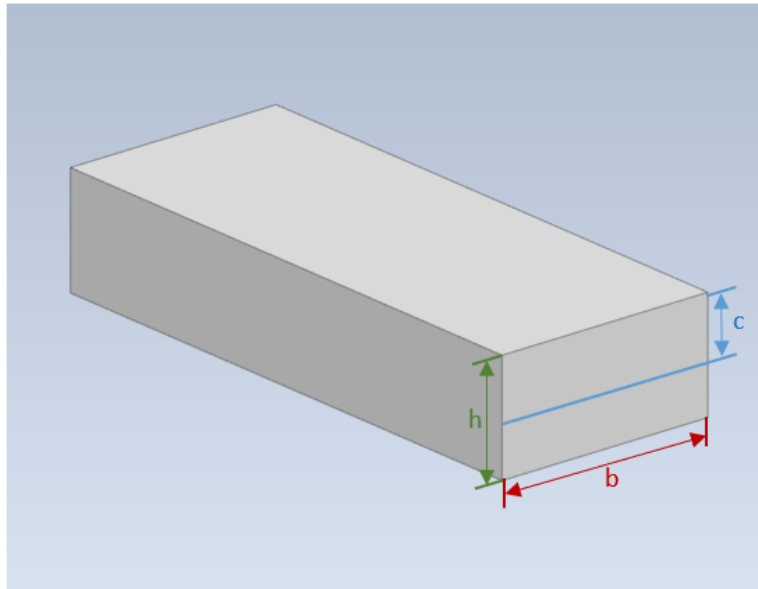
### **6.1.3. DIMENSIONAMIENTO DE PERFIL ESTRUCTURAL**

Se utiliza un perfil rectangular de acero estructural A36 (80x40x3) mm como base del cuerpo de los brazos en posición horizontal, con una cavidad para que el actuador se inserte dentro del perfil permitiendo mayor rango de movimiento sin que exista interferencia con el tubo estructural.

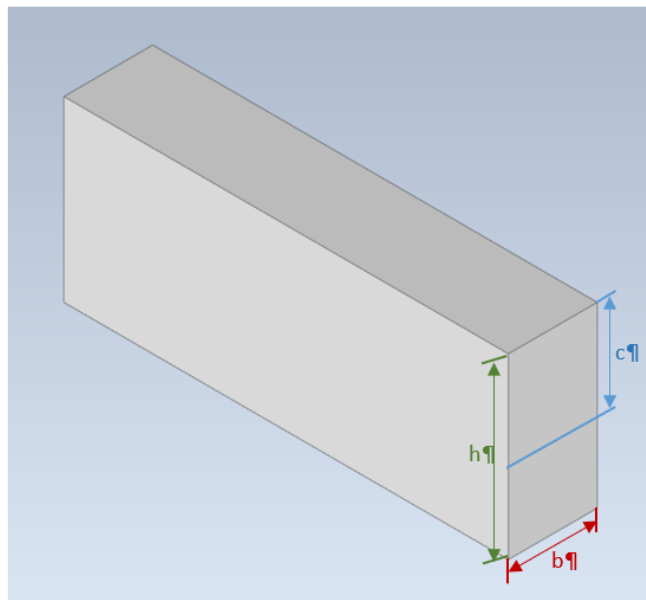


*Ilustración 31 Brazo de elevación (primera versión) [Autor]*

Para minimizar la concentración de esfuerzos que la cavidad genera sobre el perfil, se modifica la configuración cambiando la posición del perfil empleado.



*Ilustración 32 Primera configuración inercial del brazo [Autor]*



*Ilustración 33 Segunda configuración inercial del brazo [Autor]*

En este caso se simula como una viga rectangular empotrada en voladizo, con una fuerza en la esquina de 196,2 N.



Ilustración 34 Situación del perfil en voladizo [Autor]

Las ecuaciones a utilizar para el estudio son las siguientes:

$$Inercia = I = \frac{b * h^3}{12}$$

$$Momento = M = F * L$$

$$c = \frac{h}{2}$$

$$\frac{M * c}{I} \leq \frac{Sy}{2(F.S)}$$

Se obtiene como resultado los datos de la siguiente tabla:

Tabla 6 Resultados ecuaciones aprovechamiento inercial [Autor]

POSICIONAMIENTO DE PERFIL								
Material:	A36	Sy (Mpa):		250	Factor de seguridad:			2
Base (mm)	Altura (mm)	c (mm)	I (mm <sup>3</sup> )	Fuerza (kg*mm/s <sup>2</sup> )	Longitud (mm)	Momento	M*C/I	Sy/2*F.S
80	40	20	426667	0,1962	380,00	75	0,0035	62,5
40	80	40	1706667	0,1962	380,00	75	0,0017	62,5
40	20	10	26667	0,1962	380,00	75	0,0280	62,5
20	40	20	106667	0,1962	380,00	75	0,0140	62,5

De acuerdo con los resultados, el perfil en posición vertical se encuentra sobredimensionado, y sabiendo que las cargas manejadas por los seres humanos son muy bajas al compararse con la resistencia normal de un perfil estructural. Por este motivo y buscando disminuir los costos se disminuye el perfil de (80\*40) mm a (40\*20) mm, que permite reducir el peso del equipo y eliminar el concentrador de esfuerzos que se tenía. Para ello, se posiciona el actuador a un costado del brazo.



*Ilustración 35 Brazo de elevación optimizado (segunda versión) [Autor]*

## **6.2. ELEMENTOS ESTRUCTURALES**

En el diseño de la maquina estos elementos son los que van a soportar la mayor carga, por lo tanto, deben ser los más robustos, se escoge perfilería estructural para garantizar su resistencia.

### **6.2.1. BASE ESTRUCTURAL**

Para la base estructural o soporte de los brazos donde irá soportado todo el sistema se escoge perfilería en acero estructural A36 (80x40x3), adecuándose a la geometría planteada y a la resistencia necesaria para la máquina, esta estructura soportará todo el peso del mecanismo más la carga aplicada adicional para la asistencia.



Ilustración 36 Base estructural [Autor]

### 6.3. MATERIALES COMERCIALES

A continuación, se enumeran los materiales utilizados en el dispositivo, junto con los catálogos y las respectivas empresas proveedoras.

#### 6.3.1. PERFILERIA

La perfilería puede se puede encontrar en FERROPAZ, HOMECENTER y demás ferreterías de industria colombiana.



Tubo rectangular 40 x 20 x 1.1mm Cal. 18 x 6m Colmena

Referencia: SKU183863

Condición: Nuevo producto

Ilustración 37 Distribuidor de perfilería Ferropaz [33]

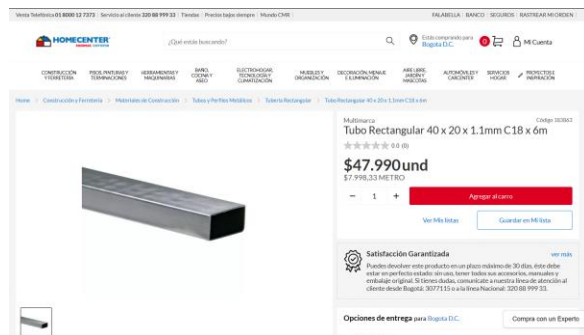


Ilustración 38 Almacén de cadena de construcción HOMECENTER [34]

### 6.3.2. RODAMIENTOS

En la selección de los rodamientos para la apertura horizontal, se escoge acorde al eje, en este caso nuestra barra redonda es de 25 mm de diámetro, por lo que se escoge un rodamiento **LM 25UUOP**, se escoge con configuración abierta para evitar la interferencia con el sistema de fijación en mariposa, ya que el tornillo se fija contra el eje.

Aplica también para el riel guía vertical, se utiliza el mismo espesor de eje, pero para este se utiliza un rodamiento **LM 25 UU**, que es de configuración cerrada.

>> Linear bearing series  
**LM...UU**




Complete type	Specification		Adjustable gap	Open	Main					
	Itemized	Weight gr f			Inscribed circle diameter	dr	Tolerance		OD	D
							Fine	High		
							Fine	High		
LM 3UU	4	1.4	-	-	3			7		
LM 4UU	4	1.9	-	-	4	0 -0.005	0 -0.008	8	0 -0.009	
LM 5UU	4	4	LM 5UUAJ	-	5			10		
LM 6UU	4	8	LM 6UUAJ	-	6			12		
LM 8SU	4	11	LM 8SU AJ	-	8			15	0 -0.011	
LM 8UU	4	16	LM 8UU AJ	-	8			15		
LM 10UU	4	30	LM 10UU AJ	-	10	0 -0.006	0 -0.009	19	0 -0.013	
LM 12UU	4	31.5	LM 12UU AJ	LM 12UU OP	12			21		
LM 13UU	4	43	LM 13UU AJ	LM 13UU OP	13			23		
LM 16UU	4	69	LM 16UU AJ	LM 16UU OP	16			28		
LM 20UU	5	87	LM 20UU AJ	LM 20UU OP	20			32		
LM 25UU	6	220	LM 25UU AJ	LM 25UU OP	25	0 -0.007	0 -0.010	40	0 -0.016	
LM 30UU	6	250	LM 30UU AJ	LM 30UU OP	30			45		
LM 35UU	6	390	LM 35UU AJ	LM 35UU OP	35			52		
LM 40UU	6	585	LM 40UU AJ	LM 40UU OP	40	0 -0.008	0 -0.012	60	0 -0.019	
LM 50UU	6	1580	LM 50UU AJ	LM 50UU OP	50			80		
LM 60UU	6	2000	LM 60UU AJ	LM 60UU OP	60	0 -0.009	0 -0.015	90	0 -0.022	
LM 80UU	6	4520	LM 80UU AJ	LM 80UU OP	80			120		
LM 100UU	6	8600	LM 100UU AJ	LM 100UU OP	100	0 -0.010				
LM 120UU	8	15000	LM 120UU AJ	LM 120UU OP	120					
LM 150UU	8	20250	LM 150UU AJ	LM 150UU OP	150	0 -0.013				

Ilustración 39 Catalogo de rodamientos lineales [35]

### 6.3.3. PEDAL

Para el diseño del asistente, el pedal seleccionado es de la marca KAP con referencia de serie SP.

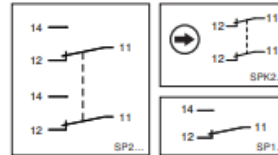
#### Série SP

- Opção de invólucro metálico ou termoplástico
- Opção de microrrutor com mecanismo de ação rápida ou ação lenta
- Mecanismo de ação rápida dos contatos:
  - Opção para 1 ou 2 microrrutores
  - Opção com microrrutor IP67. Componente reconhecido UL (File E91274 - modelo VW1-06)
- Mecanismo de ação lenta dos contatos:
  - Ruptura positiva do contato NF  $\ominus$  (IEC 60947-5-1)
  - Somente modelos com 2 microrrutores (2NF)
  - Pedal com acionador amarelo
- Pés de borracha para impedir o deslizamento
- Dupla isolamento  (modelo em termoplástico)
- Modelos com capa de proteção contra operações acidentais

#### Interruptor de Pedal Miniatura



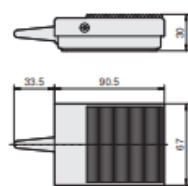
Esquemas Elétricos (IEC 60947-5-1)



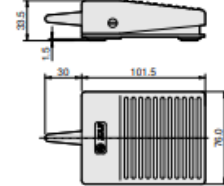
#### Especificações

Microrrutor - mecanismo - grau de proteção	Ação Rápida		Ação Lenta	
	IP40	IP67	IP40	IP40
Capacidade Elétrica	15 (3) A 250 Vca	6 A 125/250 Vca	-	-
	-	5 A 30 Vcc	-	-
Categoria de Utilização (IEC 60947-5-1)	-	-	AC-15	DC-13
Tensão Estipulada de Manobra (Ue)	-	-	240 V	125 V
Corrente Estipulada de Manobra (Ie)	-	-	3 A	0,16 A
Corrente Nominal Térmica ao Ar Livre (Ith)	-	-	10 A	-
Vida Mecânica - número de ciclos	10.000.000	1.000.000	1.000.000	-
- ciclos/min. máx.	240	120	90	-
Vida Elétrica - número de ciclos	50.000	10.000	10.000	-
- ciclos/min. máx.	10	30	6	-
Resistência de Contato (máximo inicial)	50 mΩ (em 1 A 5 Vcc)	100 mΩ (em 100 mA 1 Vcc)	50 mΩ (em 1 A 5 Vcc)	-
Temperatura Ambiente	+85° C máximo			
Grau de Proteção (IEC 60529) - Invólucro	Metálico: IP40	Plástico: IP43		-
	(modelos com microrrutor IP67: vide Informação para Encomenda)			
Materiais	Invólucro:	Metálico: Aço estampado pintado		
		Plástico: Termoplástico injetado		
	Proteção:	Aço estampado pintado		

#### Dimensões Principais (em mm)



Interruptor de Pedal Metálico



Interruptor de Pedal em Termoplástico


 KAP COMPONENTES ELÉTRICOS Ltda.

Ilustración 40 Catálogo de activador tipo pedal KAP SP [36]

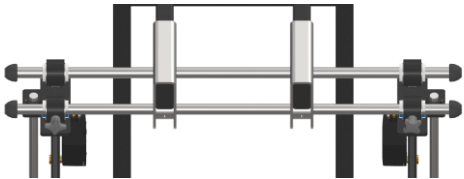

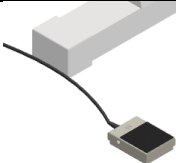

## 6.4. OPTIMIZACIÓN Y PRESENTACIÓN DEL DISEÑO


Una vez definida la optimización del diseño de los brazos de elevación, se procede con dos etapas para llegar al concepto final de la máquina. Se inicia con la siguiente configuración.

### 6.4.1. ETAPA 1 DEL DISEÑO

En esta etapa se predefine de la siguiente manera:

*Tabla 7 Definición funcional del diseño [Autor]*

FUNCION	DESCRIPCION	BOCETO
Movimiento Horizontal	Permite la regulación longitudinal de la máquina para adaptarse a las distintas fisionomías de los usuarios, garantizando la adaptabilidad del sistema de tracción del asistente a diferentes tamaños de brazos y torsos.	 <p><i>Ilustración 41 Sistema de apertura [Autor]</i></p>
Sistema de Fijación	Incorpora un sistema de fijación de tornillos de mariposa para facilitar el apriete manual, asegurando la estabilidad y seguridad durante el uso.	 <p><i>Ilustración 42 Sistema de sujeción [Autor]</i></p>
Activación del Mecanismo.	El sistema de tracción, compuesto por actuadores eléctricos, se activa mediante un pedal para mayor comodidad del usuario, evitando la necesidad de activación manual durante el ejercicio.	 <p><i>Ilustración 43 Dispositivo de activación [Autor]</i></p>
Seguridad.	Se enfatiza en la necesidad de tener las manos bien sujetas a la barra durante el ejercicio, lo que impide la activación manual del sistema y sugiere la activación mediante los pies, ofreciendo una mayor seguridad durante la práctica.	 <p><i>Ilustración 44 Sujeción a barra mientras se realiza el ejercicio [37]</i></p>

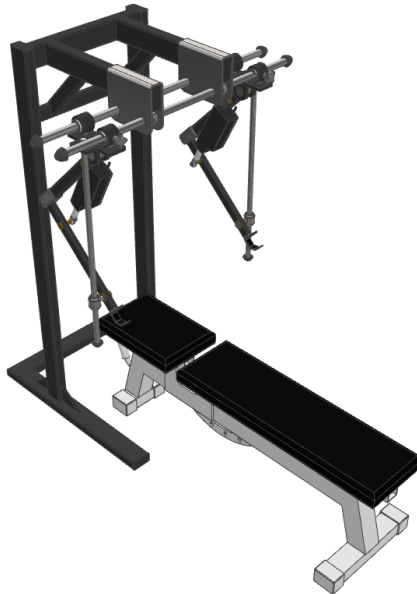
<p>Seguro en caso de eventos no comunes.</p>	<p>El asistente está equipado con topes de seguridad para garantizar la protección del usuario ante situaciones inesperadas o accidentales durante el entrenamiento. Estos topes actúan como medidas de precaución para prevenir lesiones en caso de que el usuario no pueda completar el movimiento o pierda el control de la carga.</p>	 <p><i>Ilustración 45 Topes de seguridad en rieles guías verticales [Autor].</i></p>
<p>Consideraciones de Diseño.</p>	<p>El diseño final se optimiza considerando reducciones de material, peso y selecciones de elementos, asegurando la eficiencia y funcionalidad del equipo.</p>	



*Ilustración 46 Configuración del brazo predefinida para el diseño [Autor]*

### 6.4.2. ETAPA 2 DEL DISEÑO

Se realiza la optimización del sistema completo, exceptuando la base estructural, reduciendo el tamaño y peso del perfil de los brazos, disminuye el calibre y forma de los soportes de las barras guías horizontales y verticales. La transición fue la siguiente:



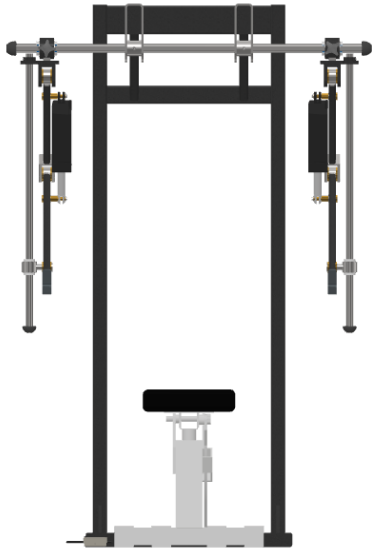
*Ilustración 47 Configuración optimizada del diseño [Autor]*

### 6.4.3. PRESENTACIÓN DEL DISEÑO

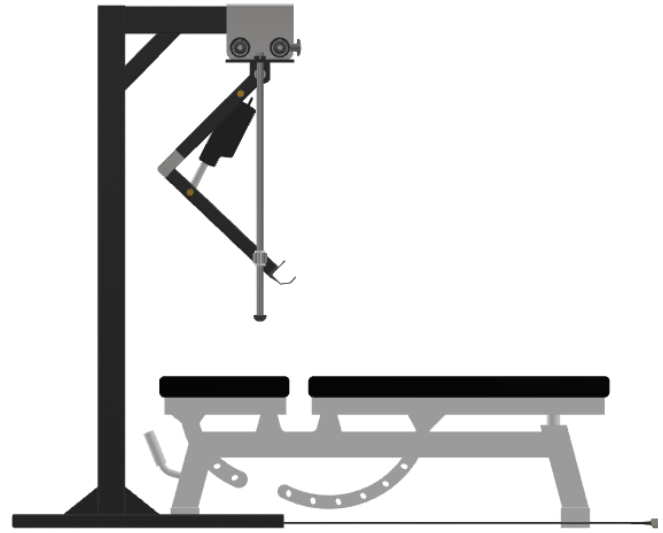
Culminadas las etapas el diseño definitivo queda de la siguiente forma.



*Ilustración 48 Vista isométrica del asistente [Autor]*



*Ilustración 49 Vista frontal del asistente [Autor]*



*Ilustración 50 Vista lateral del asistente [Autor]*

## 6.5. CALCULOS

### 6.5.1. CENTRO DE GRAVEDAD.

Como primera instancia para el calculo del asistente, es necesario determinar el centro de gravedad del sistema, pero para esto se debe ubicar un sistema de referencia (lineas de color dorado de la Ilustración 38) que permite medir las distancias del C.G y respectiva ubicación.

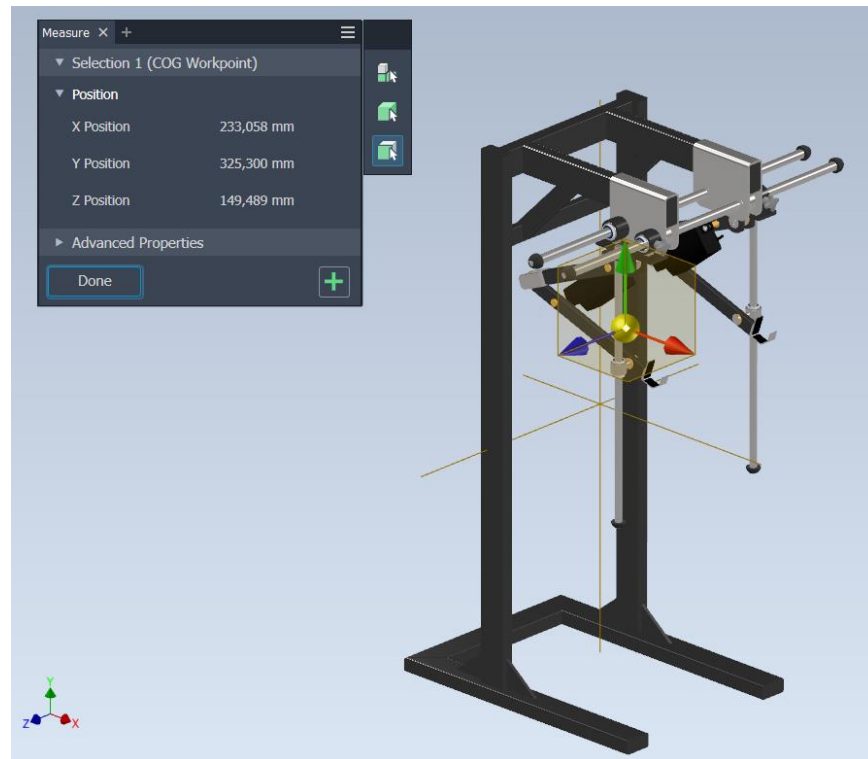


Ilustración 51 Ubicación del centro de gravedad en software [Autor]

El software automáticamente lo ubica y obtenemos que respecto al eje X este se encuentra a 233.058 mm, respecto al eje Y se encuentra a 325.300 mm y respecto al eje Z se encuentra a 149.489 mm.

### 6.5.2. ASIGNACIÓN DE MATERIAL

El centro de gravedad determina el peso a soportar por la estructura base, una vez configurados los materiales de cada elemento, se estima con el software CAD sus respectivos pesos.

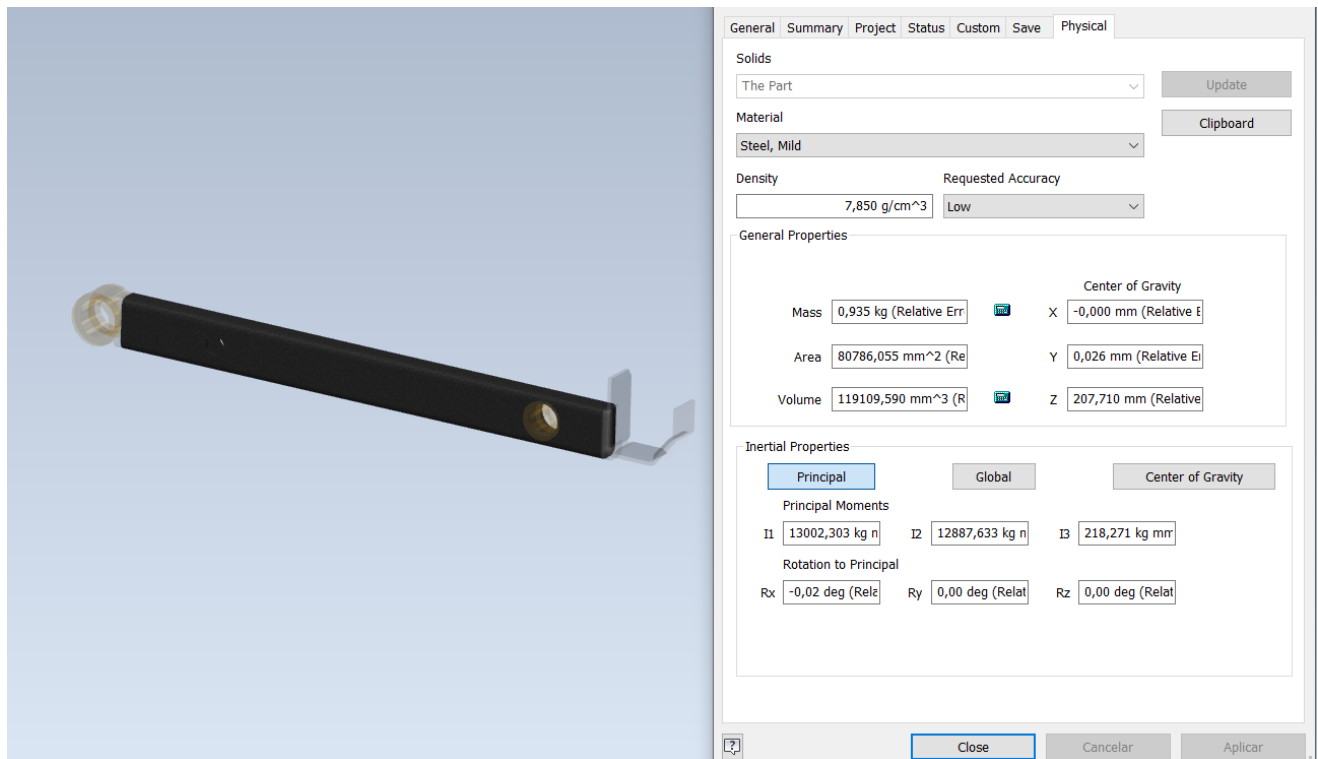


Ilustración 52 Asignación de materiales en software [Autor]

Se obtienen los datos suministrados en la siguiente tabla:

Tabla 8 Pesos que soporta la estructura base por brazo del asistente [Autor]

Elementos de cada brazo apoyado a la estructura base.	Peso (Kg)
Eje vertical	1,943
Brazo parte 1 y 2	3
Guia pivote	2,8
Actuador	1
Soporte de rieles	4
Riel ajuste	3,8
Eje rodamiento riel	0,3
Peso de barra olimpica	10
Asistencia	15
<b>Total:</b>	<b>41,8</b>
<b>Fuerza (N)</b>	<b>410,5</b>

Los pesos obtenidos se deben multiplicar por la gravedad para obtener el valor de la fuerza en unidad de Newton, así mismo realiza la ubicación de la gravedad sobre el asistente ya que actúa en general sobre este.

Los materiales seleccionados para los elementos a tener en cuenta en el analisis estructural son los siguientes:

Tabla 9 Materiales configurados por cada parte del asistente [Autor]

Elemento	Material
Perfil Estructural 80mm*40mm (Base)	Acero estructural A-36
Perfil Estructural 2"*1" (Soporte)	Acero estructural A-36
Perfil Estructural 40mm*20mm (Brazos)	Acero estructural A-36
Nervios (Soportes Triangulares)	Lamina calibre 3/8" A-36
Soporte de ejes horizontales	Acero inoxidable 304
Buje prisionero de eje	Acero inoxidable 304
Ejes horizontales (Rieles)	Acero inoxidable 304
Soportes de brazos y rieles guias	Acero estructural A-36
Puntas de rotacion (Bases)	Acero inoxidable 304
Puntas de rotacion (Bujes de rozamiento)	Latón
Ejes pasadores soportes de actuador	Latón
Punta de base pivoteable	Acero inoxidable 304
Eje de rotacion (Punta de brazos)	Acero inoxidable 304
Tapones para pasador de riel vertical (Brazos)	Latón

## 6.6. ANÁLISIS ESTRUCTURAL

### 6.6.1. CONFIGURACIÓN DE MALLA

Una vez seleccionados los materiales y configurados en el software CAD se procede al analisis estructural de los elementos, para el analisis se realizo un mallado con la siguiente configuracion:

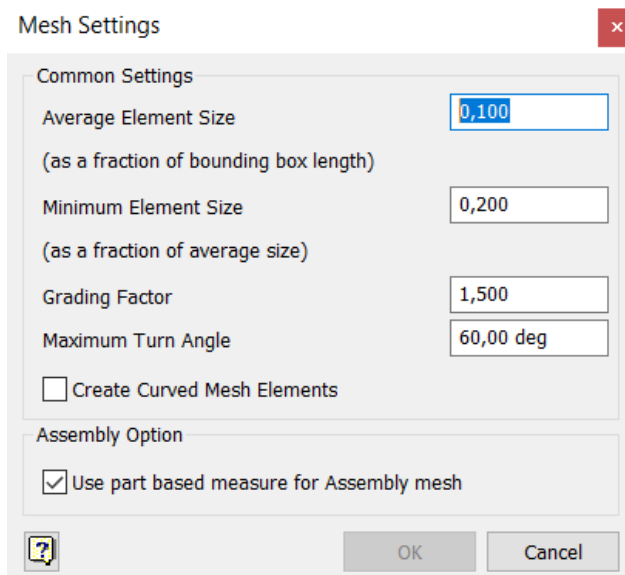
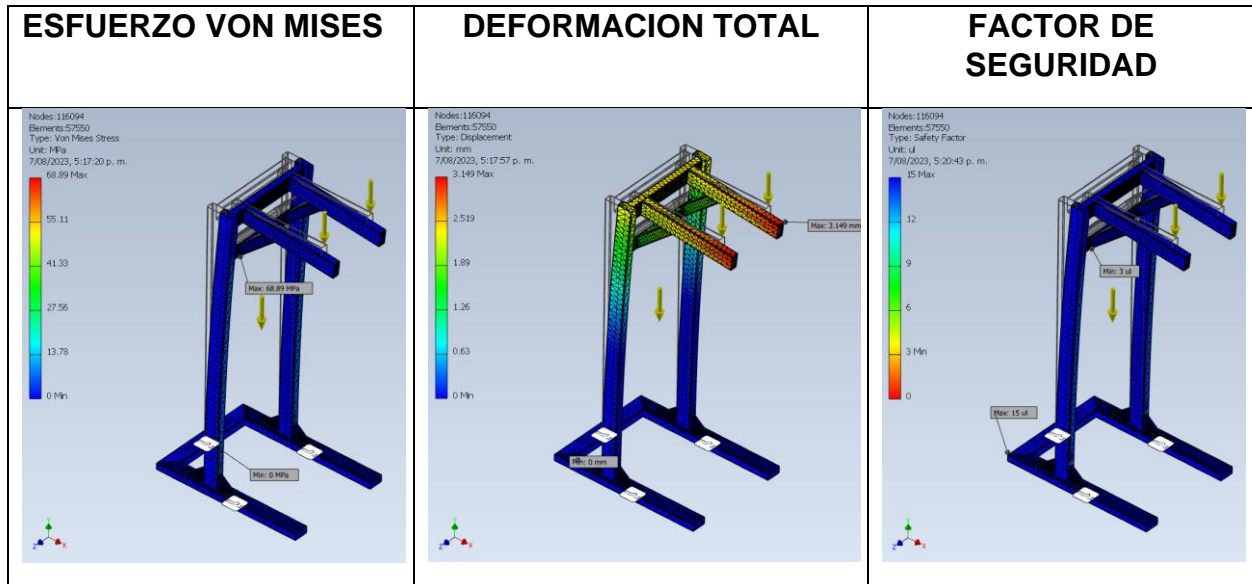


Ilustración 53 Configuración de malla para el análisis estructural [Autor]

## 6.6.2. ANALISIS DE BASE ESTRUCTURAL

Para este análisis se utiliza la mayor carga, ya que esta estructura va a soportar el peso del mecanismo mas el peso a asistir para el usuario, la fuerza aplicada es de 410,5 N y de forma puntual en la esquina del perfil para simular el esfuerzo critico sobre el material.

Tabla 10 Análisis estructural de la base [Autor].



### 6.6.2.1. ANALISIS DE ESFUERZO POR VON MISES

El esfuerzo al que estara sometido la estructura base tiene como valor maximo 68,889 MPa, el acero estructural A-36 tiene un esfuerzo de fluencia de 250 MPa, lo que indica que tendrá una resistencia optima a la aplicación de la carga a soportar y por ende hace de este materia y estructura la optima para la aplicación del asistente.

### 6.6.2.2. ANALISIS DE DESPLAZAMIENTO

La aplicación de una carga o fuerza en cualquier estructura mecanica genera un desplazamiento, el cual determina que tanta deformacion puede generarse en el sistema, en este caso el desplazamiento maximo para la estructura se genera en las puntas, donde se aplicaron las cargas que en este caso fueron puntuales para garantizar el punto critico de aplicación de la fuerza, se da un desplazamiento maximo de 3,149 mm, este es un valor aceptable.

### 6.6.2.3. FACTOR DE SEGURIDAD

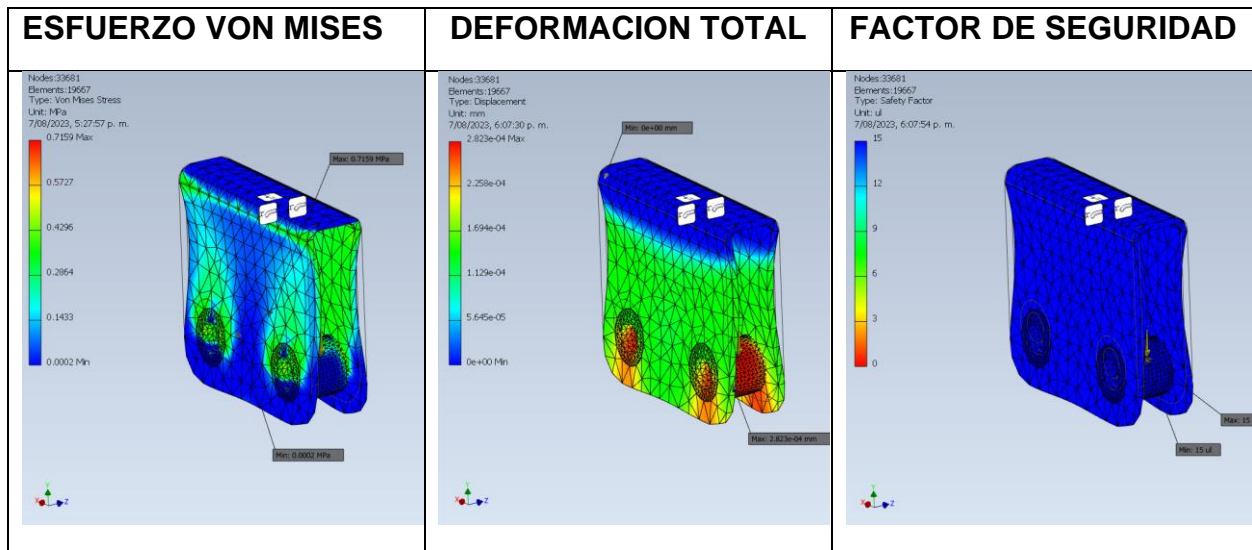
Se usa para indicar la resistencia del material y su confiabilidad al aplicarse la situación de carga, un factor de seguridad superior al 1, indica que la estructura maneja una carga superior a la esperada, indicando un diseño sólido y seguro. En el caso del asistente se

tiene que en toda la estructura el valor mínimo del factor de seguridad es de 3 y como máximo 15, lo que hace el diseño seguro y confiable.

### 6.6.3. ANÁLISIS DEL SOPORTE PARA LOS EJES HORIZONTALES

En este caso se aplica una fuerza de 372 N, la disminución se debe a la reducción del peso del elemento a estudiar.

Tabla 11 Análisis estructural del soporte para los ejes horizontales [Autor].



#### 6.6.3.1. ANÁLISIS DE ESFUERZOS POR VON MISES

En el caso del soporte para los ejes horizontales, según la situación de carga, se obtiene el esfuerzo máximo de 0,7159 MPa, el material utilizado es el acero inoxidable 304 con un esfuerzo de fluencia de 235 MPa, una resistencia optima del elemento.

#### 6.6.3.2. ANÁLISIS DE DESPLAZAMIENTO

Para el desplazamiento como se puede observar, el valor máximo no se acerca al milímetro, por lo que nos da un desplazamiento optimo a la situación de carga ejercida.

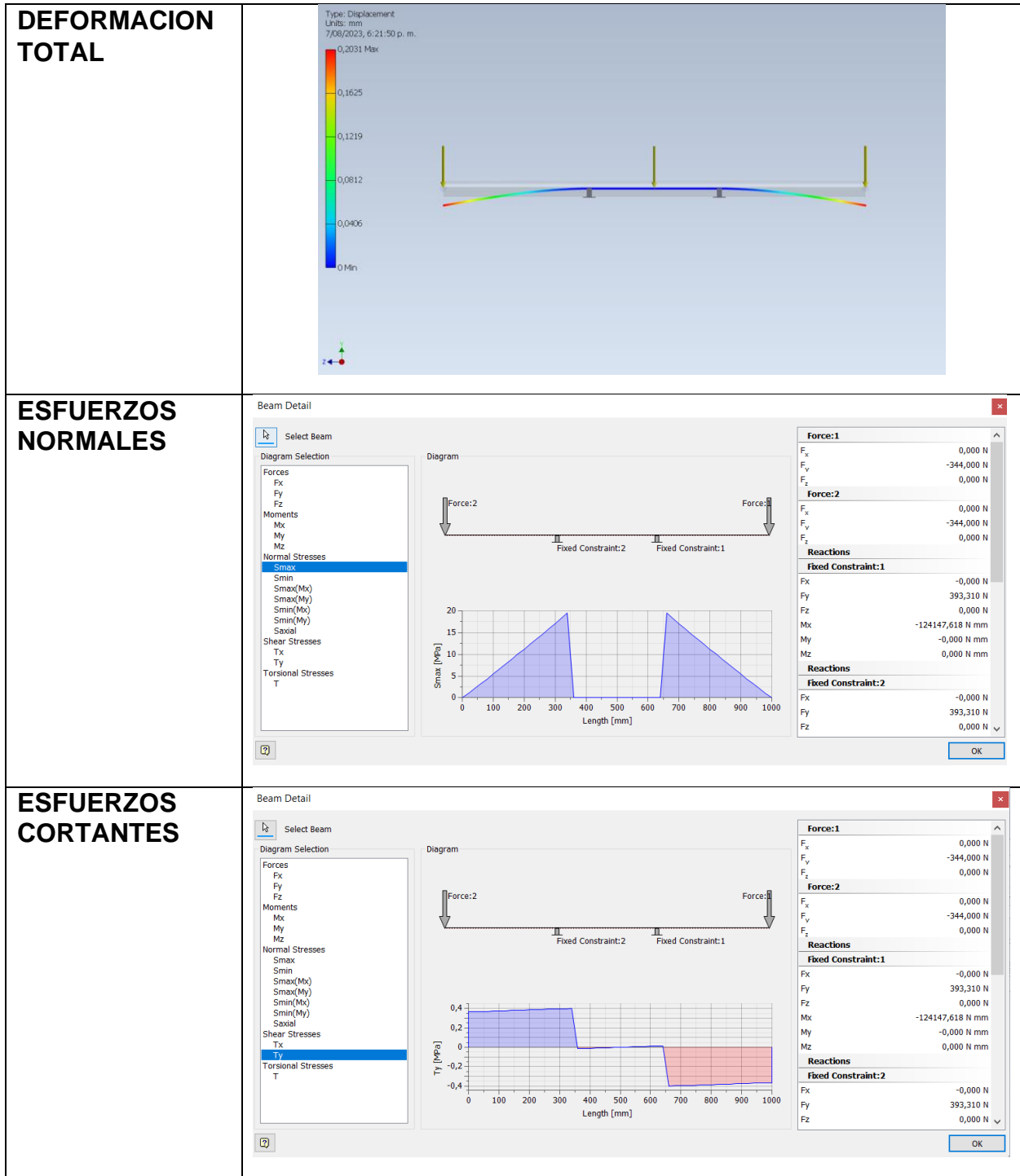
#### 6.6.3.3. FACTOR DE SEGURIDAD.

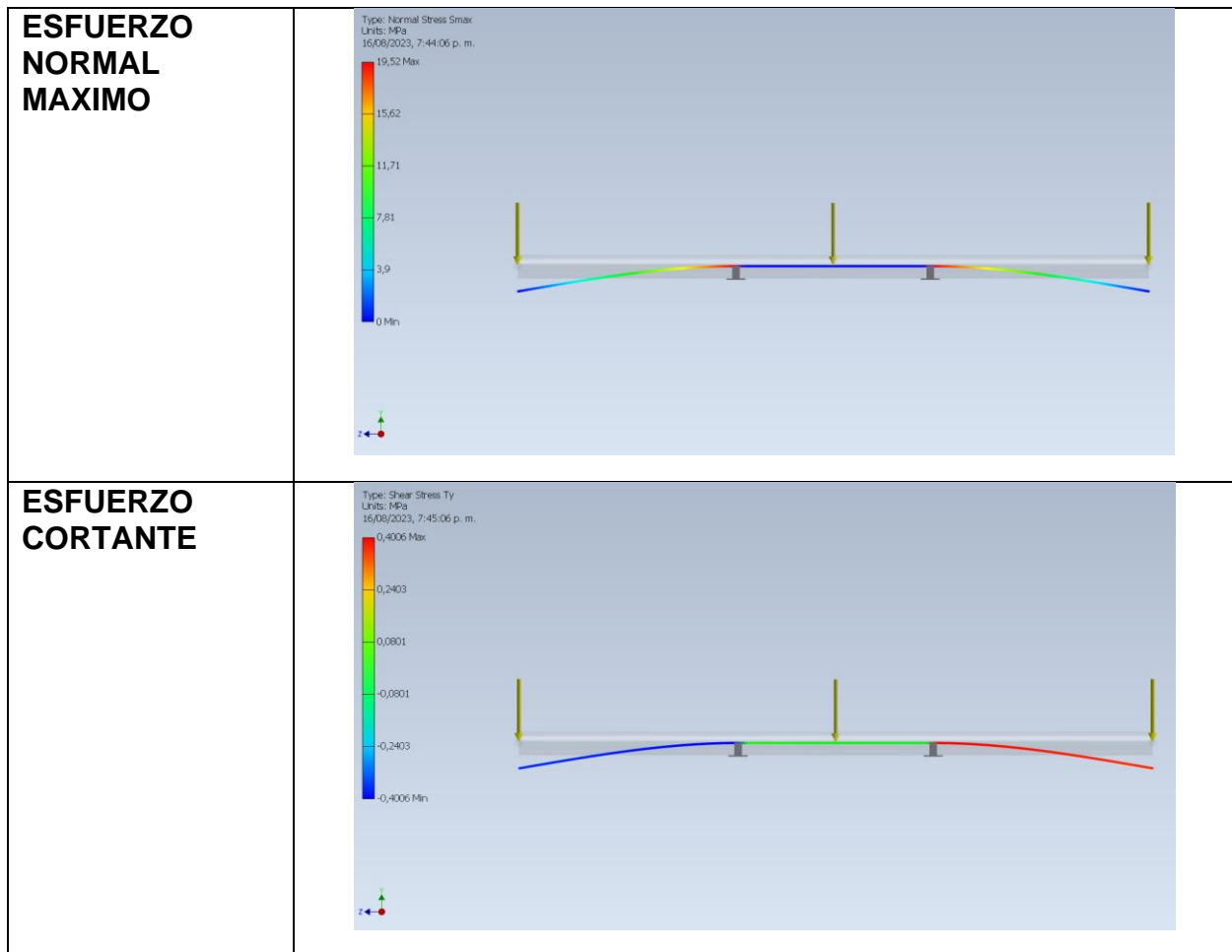
El factor de seguridad en este caso es de 15 para todo el elemento, por lo que garantiza confiabilidad y resistencia optima.

#### 6.6.4. ANÁLISIS DE LOS EJES HORIZONTALES

Para analizar los ejes horizontales, se reduce el peso a soportar, en este caso se reduce a 344 N por los soportes y estudia que son las barras en acero inoxidable 304.

Tabla 12 Análisis estructural de los ejes horizontales de apertura [Autor].





#### 6.6.4.1. ANÁLISIS DE DESPLAZAMIENTO Y ESFUERZOS

En este caso para el eje horizontal de apertura se tiene un valor de desplazamiento máximo de 0,2031 mm, este valor se da en las puntas del eje como zona crítica al ser los puntos donde están aplicadas las cargas, el valor del desplazamiento máximo es óptimo para la aplicación.

La situación de cargas y el comportamiento del eje se analiza como una viga, en los siguientes diagramas se puede observar los esfuerzos normales y cortantes que se generan con la situación de carga.

Acorde al comportamiento del eje con la situación de carga se obtiene que los esfuerzos normales máximos tienen un valor de 19,52 MPa y los cortantes de 0,4006 MPa haciendo del acero inoxidable 304 un material óptimo para la aplicación.

#### 6.6.5. ANÁLISIS DE LOS SOPORTES DE BRAZOS Y RIELES GUÍAS

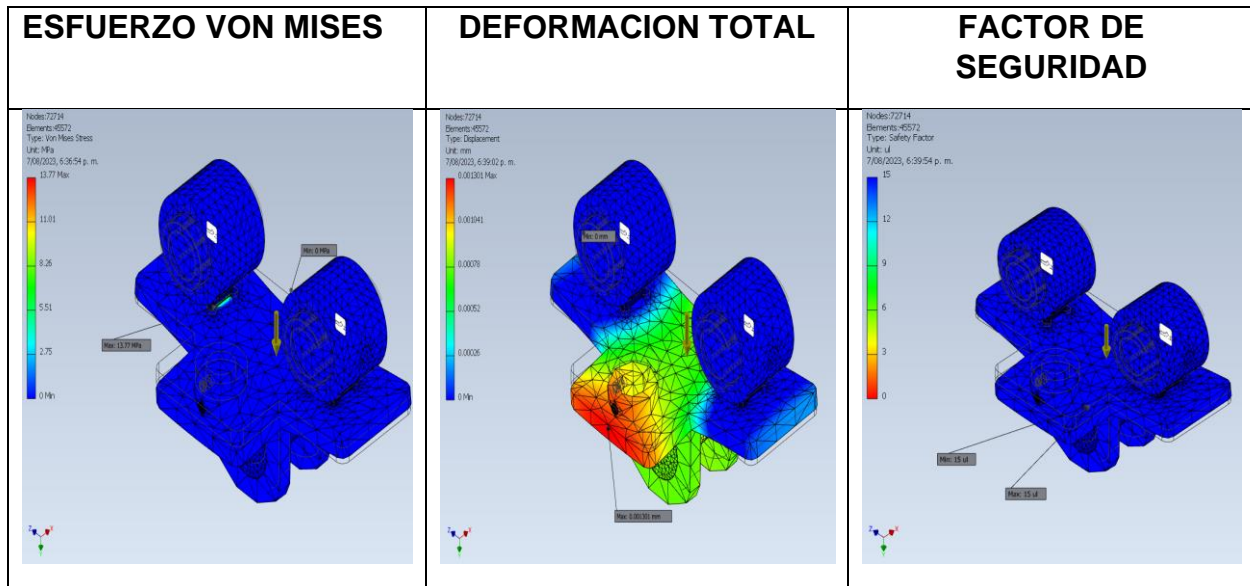
La carga o fuerza aplicada a este soporte se reduce a 341 N, por la disminución del peso del soporte de los rieles, sus elementos y los ejes horizontales (rieles).

Este elemento está compuesto de acero estructural A-36 en todas sus partes, lo que nos da como resultado lo siguiente.

### 6.6.5.1. ANÁLISIS DE ESFUERZO POR VON MISES

Dada la situación de carga aplicada y el material suministrado para el diseño, se tiene un esfuerzo máximo es de 13,77 MPa, dado que el material tiene un esfuerzo de fluencia de 250 MPa, la resistencia de los elementos es óptima.

Tabla 13 Análisis estructural de soportes de brazos y rieles guía [Autor].



### 6.6.5.2. ANALISIS DE DESPLAZAMIENTO

En este caso el elemento no alcanza el milimetro en cuanto a desplazamiento, lo que hace el diseño óptimo y estable para su aplicación.

### 6.6.5.3. FACTOR DE SEGURIDAD

Se obtiene que el valor del factor de seguridad mínimo del elemento es de 15, lo que hace de la estructura un elemento confiable, seguro y resistente para la aplicación.

### 6.6.6. ANALISIS DE BRAZOS PARTE 1

Para el análisis de la primera parte de los brazos se aplica una fuerza de 304 N, disminuyendo el peso de los elementos anteriores a este y que ya fueron analizados. Los brazos contienen elementos como los soportes de las esquinas establecidos con acero inoxidable 304, bujes de latón, el perfil base en acero estructural A-36 y ejes en latón y acero inoxidable 304.

Configurado los materiales de cada elemento que componen el brazo, se procede a realizar los análisis correspondientes.

Tabla 14 Análisis estructural de brazos parte 1 [Autor].



### 6.6.6.1. ANÁLISIS DE ESFUERZO POR VON MISES

Se obtiene que el valor máximo de esfuerzo es de 83,44 MPa en el eje que soporta la segunda parte del brazo, estos componentes en esa zona son en acero inoxidable 304 con un esfuerzo de fluencia de 235 MPa, por lo que el diseño y los materiales de esta parte del brazo, soportan la situación de carga optimamente.

### 6.6.6.2. ANALISIS DE DESPLAZAMIENTO

Para el desplazamiento, el valor máximo es de 0,3342 mm, este valor indica un comportamiento óptimo del elemento.

### 6.6.6.3. FACTOR DE SEGURIDAD

Para esta primera parte del brazo, contamos con un factor de seguridad mínimo de 3 y máximo de 15, lo que da confiabilidad al sistema, esto garantiza la resistencia de los elementos y un funcionamiento óptimo de las partes que integran el brazo.

### 6.6.7. ANÁLISIS DE BRAZOS PARTE 2

Para el análisis de la parte 2 de los brazos se aplica una fuerza de 289 N, la disminución se debe a que los elementos anteriores a esta parte de la máquina ya fueron analizados y sometidos a estudio, esta parte se considera la última en la cadena de elementos y será donde el usuario posicionará la barra para ser levantada por el mecanismo.

Como en la parte 1, esta tendrá elementos con diferentes materiales donde se puede encontrar los soportes de las esquinas configurados con acero inoxidable 304, bujes de latón, el perfil base en acero estructural A-36, ejes en latón y acero inoxidable 304, la punta o gancho está configurada en acero estructural A-36.

Tabla 15 Análisis estructural de brazos parte 2 [Autor].



### 6.6.7.1. ANÁLISIS DE ESFUERZO POR VON MISES

Dado el estudio, se obtiene un esfuerzo máximo de 168,8 Mpa y este se encuentra ubicado en el soporte final del brazo o el gancho, dada su geometría y aristas se forman concentradores de esfuerzos, en estos se tienen los valores máximos, el esfuerzo máximo del análisis o estudio es soportable para el material escogido ya que el acero A-36 cuenta con un esfuerzo de fluencia de 250 MPa, por lo que el brazo tendrá un óptimo comportamiento y resistencia.

### 6.6.7.2. ANÁLISIS POR DESPLAZAMIENTO

Para este análisis, el desplazamiento máximo es de 0,8156 mm y está en la esquina o el gancho, es óptimo ya que es mínimo, por lo que la deformación del elemento por la carga aplicada se soportará y no afectará el funcionamiento del sistema.

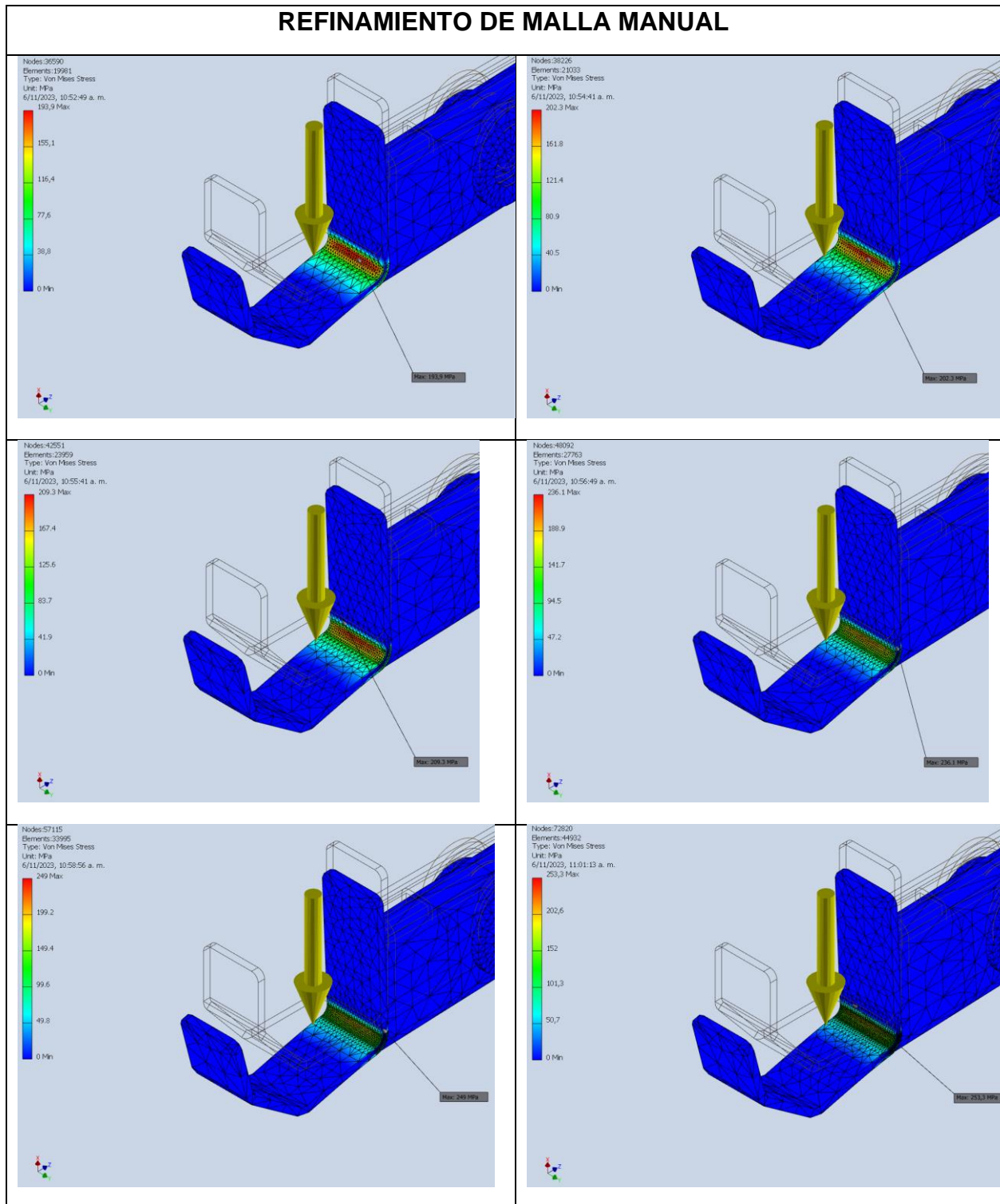
### 6.6.7.3. FACTOR DE SEGURIDAD

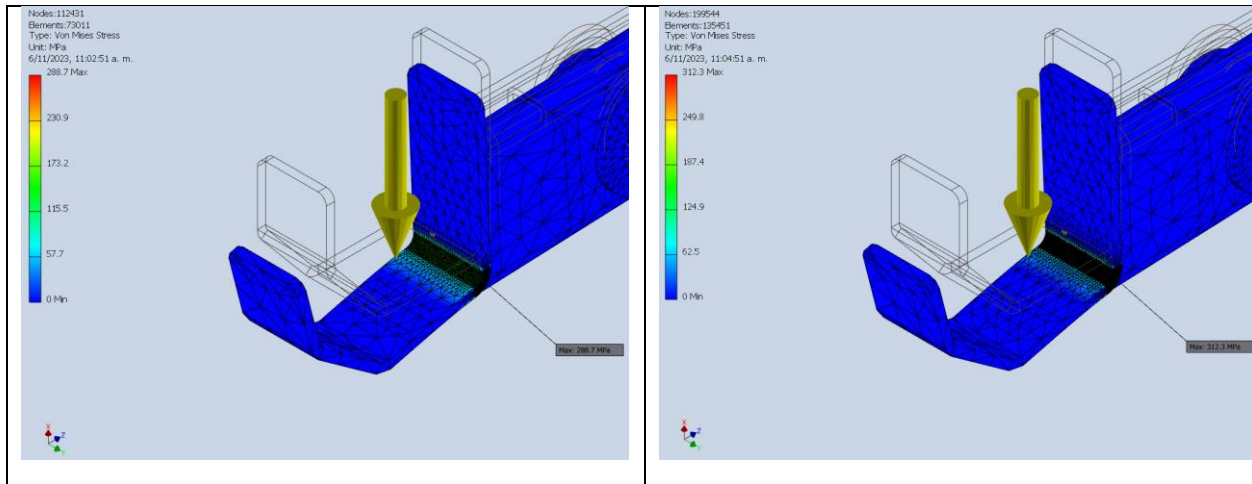
Para esta segunda parte del brazo, se cuenta con un factor de seguridad mínimo de 1,48 y máximo de 15, aunque el valor mínimo no es alto, entra dentro del rango de lo permisible para ofrecer confiabilidad al sistema, garantizar la resistencia de los elementos y un funcionamiento óptimo.

### 6.6.8. REFINAMIENTO DE LA MALLA – PIEZA CRÍTICA

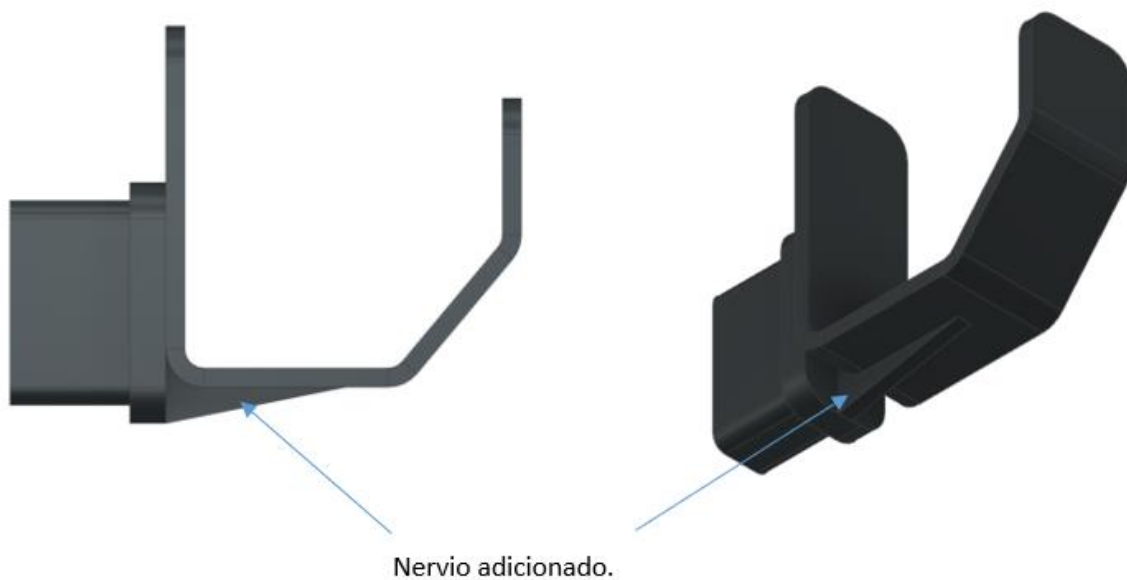
Al ser la parte crítica en el asistente se refina la malla en la parte donde se presenta el mayor esfuerzo, este refinamiento se realiza manualmente y resulta en las siguientes imágenes.

Tabla 16 Refinamiento de malla manual en pieza crítica [Autor].





En el análisis con 312.3 MPa, se agrega un nervio en la parte inferior central para aumentar la resistencia a la carga.



*Ilustración 54 Adición de nervio refuerzo [Autor]*

Con la adición del nervio se realiza un análisis de refinamiento de malla localizado para garantizar la resistencia de la pieza con los siguientes parámetros.

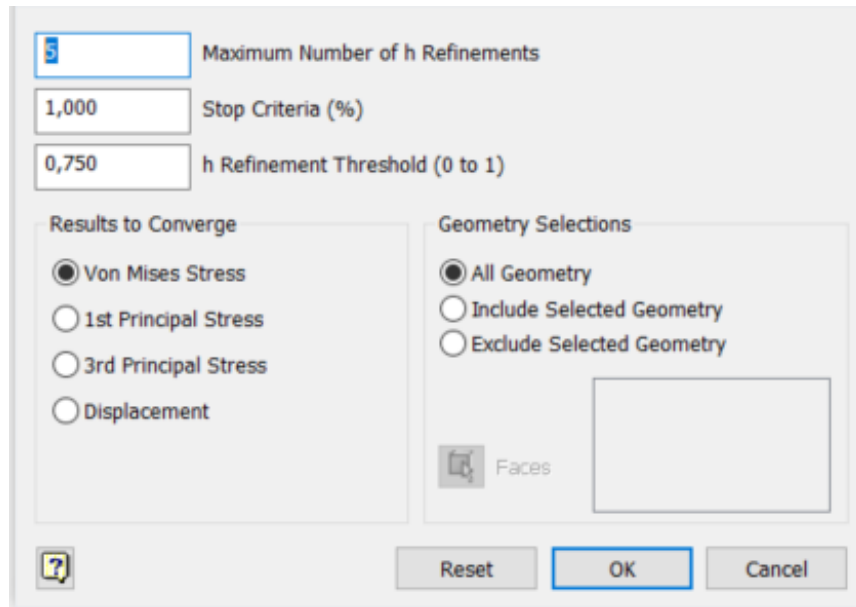


Ilustración 55 Refinamiento de malla una vez agregado el nervio de refuerzo [Autor]

Las áreas seleccionadas para el refinamiento de malla son las siguientes:

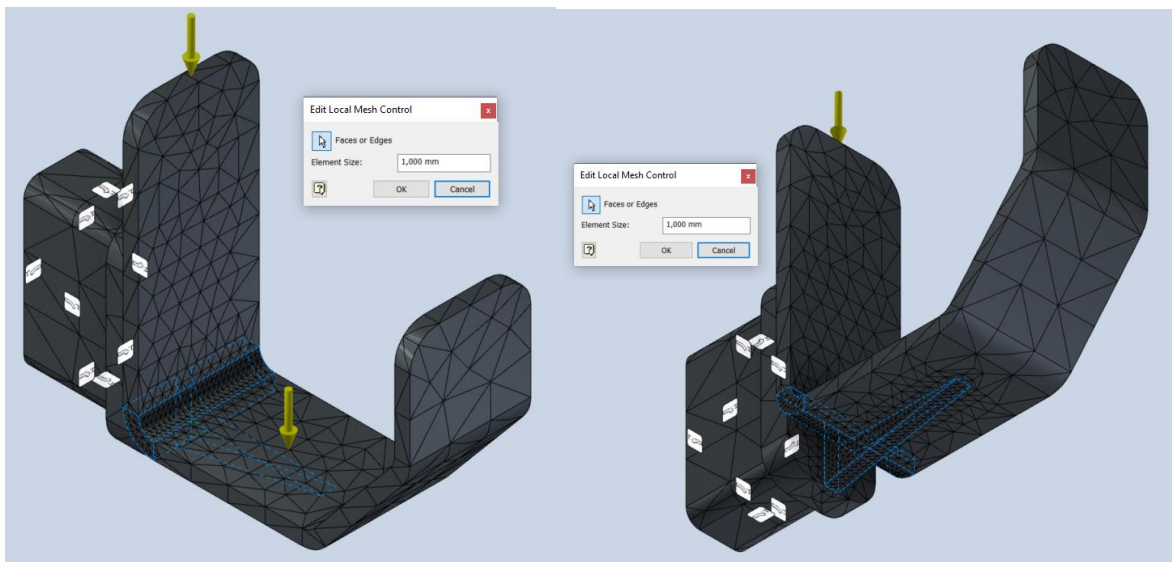


Ilustración 56 Áreas críticas seleccionadas para el refinamiento de malla [Autor]

Ya configurado el estudio se procede a realizar el análisis, donde se da el siguiente resultado:

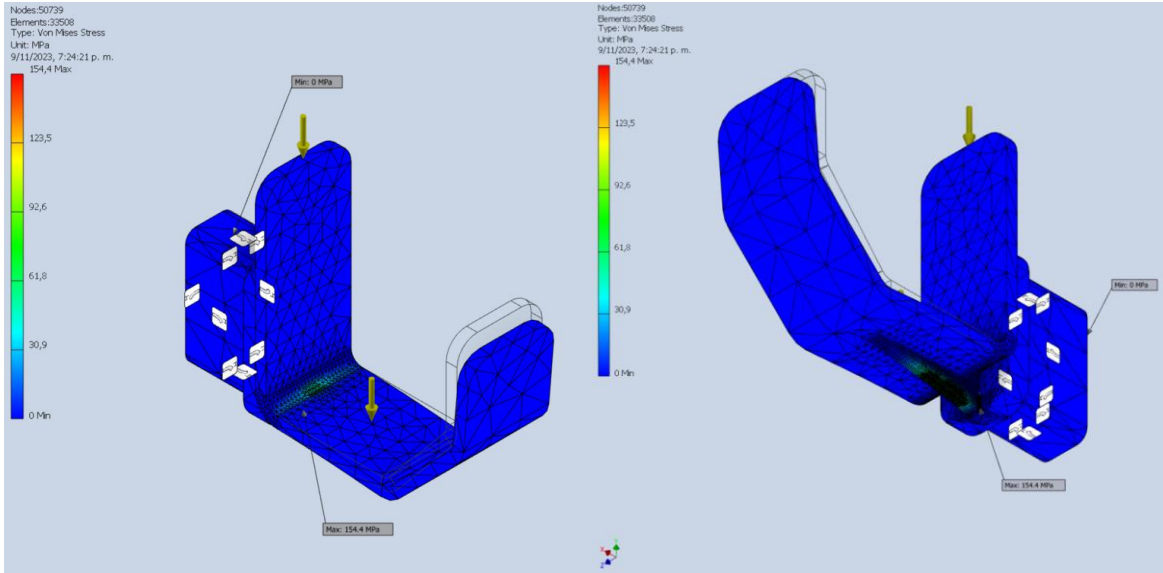


Ilustración 57 Análisis de esfuerzo por Von Mises con refinamiento de malla [Autor]

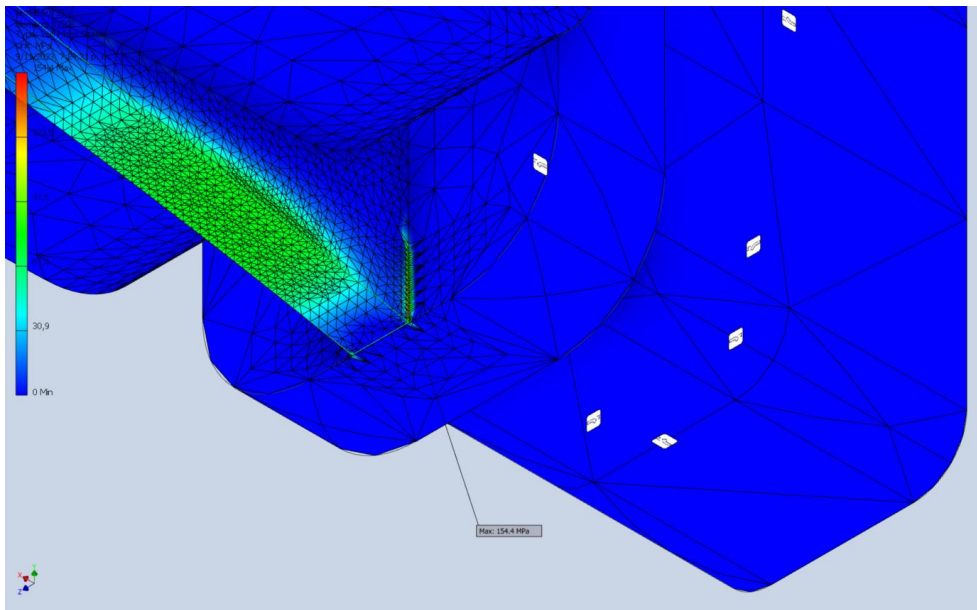


Ilustración 58 Análisis de esfuerzo en ubicación crítica por Von Mises [Autor]

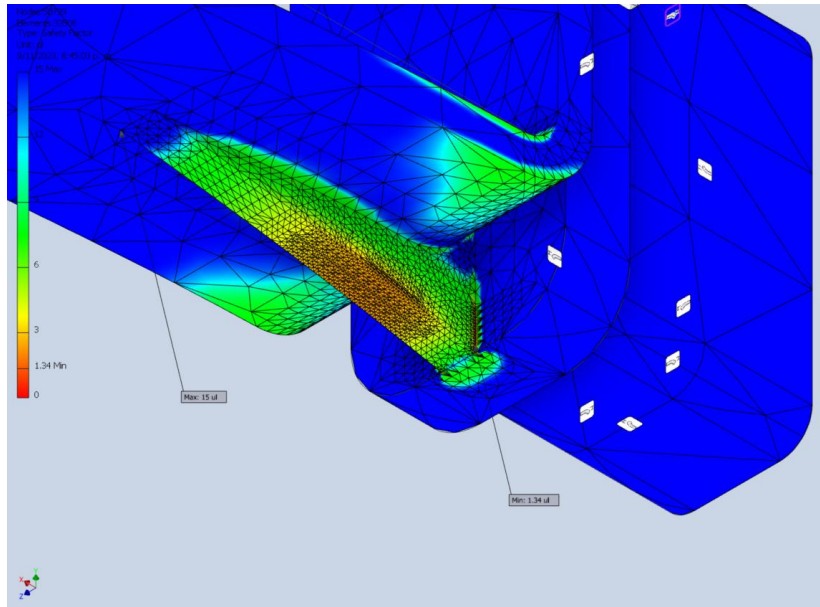


Ilustración 59 Factor de seguridad en ubicación crítica [Autor]

### 6.6.8.1. CONVERGENCIA DE MALLA

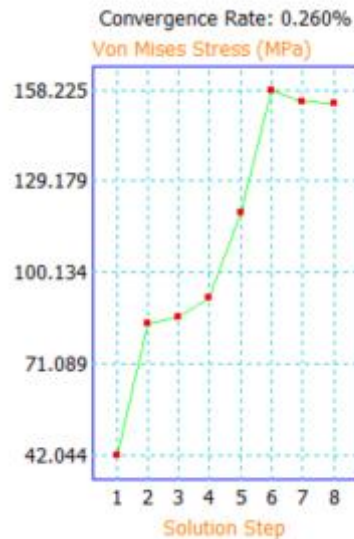


Ilustración 46 Gráfica convergencia de malla [Autor]

Dado el análisis de convergencia de malla se obtiene que el valor máximo de esfuerzo soportado por la parte crítica es de 158,225 MPa, el material asignado para la pieza lo soporta ya que esta tiene una resistencia de 250 MPa.

Los valores presentados por el análisis estructural, análisis FEA y los resultados de las simulaciones indican que el diseño soporta cargas de trabajo dentro de los parámetros establecidos. Además, resalta la importancia del refinamiento de malla para obtener resultados más precisos en el análisis de elementos finitos.

## **7. RESULTADOS**

### **7.1. ANÁLISIS MORFOLÓGICO DE DISEÑO**

Su aplicación permitió explorar múltiples alternativas de diseño del dispositivo asistente. Se identificaron elementos clave como el mecanismo de apoyo, sistema de seguridad, interfaz con el usuario y materiales/estructura. A través de este análisis, se destacaron combinaciones potenciales, resaltando la opción con un mecanismo de barras deslizantes con rodamientos lineales, sistema de seguridad y activación con accionamiento al pie y una estructura base de acero estructural como la más prometedora.

### **7.2. ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y DE ELEMENTOS FINITOS**

En simulaciones por elementos finitos, se realizó un análisis de resistencia dada la carga a soportar por el asistente, el diseño propuesto con materiales como el acero estructural y un refinamiento de malla junto al refuerzo aplicado a la parte criticada del dispositivo, mostró capacidades para soportar cargas simuladas dentro de los límites aceptables de resistencia, deformación y factores de seguridad.

### **7.3. EVALUACIÓN GENERAL**

Los resultados obtenidos de los análisis estructurales a detalle y morfológicos sugieren que el diseño propuesto tiene potencial para ofrecer un soporte robusto y seguro además de asistir a los usuarios durante los ejercicios de *press* plano. Sin embargo, se enfatiza la necesidad de pruebas reales para validar y ajustar el diseño, considerando factores específicos como la ergonomía y la experiencia del usuario en entornos de gimnasio.

## **8. RECOMENDACIONES**

Dentro de las recomendaciones para el proyecto se estima lo siguiente:

### **8.1. PRUEBAS EXPERIMENTALES**

Realizar pruebas físicas con prototipos del dispositivo en entornos de gimnasio reales. Estas pruebas permitirán validar la funcionalidad, la ergonomía y la seguridad del dispositivo, además de recopilar comentarios directos de los usuarios y profesionales del fitness para refinamientos futuros.

### **8.2. OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO**

Considerar la optimización continua del diseño mediante iteraciones basadas en los resultados de las pruebas experimentales. Esto podría incluir ajustes en la estructura, materiales o sistemas de seguridad para mejorar la eficiencia y la experiencia del usuario.

### **8.3. ESTUDIO DE MERCADO Y VIABILIDAD ECONÓMICA**

Realizar un estudio de mercado para comprender la aceptación del dispositivo en la industria del fitness. Evaluar la viabilidad económica del proyecto mediante análisis de costos de producción, posibles estrategias de comercialización y precios competitivos en el mercado actual.

#### **8.4. INTEGRACIÓN DE TECNOLOGÍA**

Explorar la integración de tecnologías emergentes, como sensores de movimiento o sistemas de seguimiento de progreso, para mejorar la experiencia del usuario y ofrecer datos útiles para el monitoreo del ejercicio y el progreso físico. Integrar sistema de control complementario a los sensores a utilizar.

#### **8.5. CERTIFICACIONES Y NORMATIVAS**

Asegurarse de que el dispositivo cumpla con las normativas y estándares de seguridad y calidad establecidos por las autoridades competentes. Obtener las certificaciones necesarias para garantizar su uso seguro y legal en entornos comerciales.

#### **8.6. COLABORACIÓN INTERDISCIPLINARIA**

Considerar la colaboración con profesionales de diversas disciplinas, como ingeniería biomédica, diseño industrial y ciencias del deporte, para obtener perspectivas variadas que enriquezcan el desarrollo del dispositivo y su implementación exitosa.

#### **8.7. RETROALIMENTACIÓN Y MEJORA CONTINUA**

Establecer un sistema para recopilar y analizar continuamente la retroalimentación de los usuarios y los operadores de gimnasios. Utilizar esta información para realizar mejoras iterativas en el diseño y la funcionalidad del dispositivo a lo largo del tiempo.

## 9. CONCLUSIONES

El análisis detallado de los requisitos de ingeniería para el dispositivo ha permitido establecer criterios para determinar su capacidad de asistencia al usuario durante el ejercicio, así como la facilidad de manipulación y mantenimiento. Se busca que el dispositivo sea ergonómico, adaptable a la población destinada y seguro para el usuario durante la ejecución del ejercicio. La identificación precisa de estos requisitos proporciona una base sólida para el diseño y desarrollo del dispositivo, teniendo en cuenta aspectos como resistencia, seguridad, comodidad y funcionalidad.

La revisión del estado del arte en dispositivos de asistencia para ejercicios de fuerza en banco plano revela diversas opciones de máquinas asistentes guiadas para el trabajo de grupos musculares, pero no específicamente para el ejercicio de banco plano. Este análisis permitió identificar que el asistente planteado en este proyecto no existe y que es un dispositivo patentable. La exploración de diferentes enfoques tecnológicos y conceptuales proporcionó un marco amplio para la formulación de opciones innovadoras y eficaces en el diseño conceptual del dispositivo.

El diseño conceptual del dispositivo se determina mediante un análisis morfológico, del cual se obtienen tres alternativas de diseño que son evaluadas mediante el método analítico de PUGH. En este proceso, se sintetizan los requisitos definidos y las alternativas evaluadas, y se concluye que la alternativa 3 obtuvo la valoración más alta debido a las ponderaciones de los criterios y cumplió de manera más completa con los requisitos establecidos.

El diseño detallado del dispositivo se basa en la alternativa 3. Se comienza por dimensionar las partes de acuerdo con las medidas antropométricas promedio de la población colombiana, y se procede a optimizar los perfiles estructurales sometidos a una situación de carga estática crítica, lo que resulta en una reducción del 50% del material debido a su posición. Utilizando software CAD/CAE, se somete el modelo a un análisis por elementos finitos (FEA) para estudiar los esfuerzos máximos, deformaciones y factores de seguridad del dispositivo, aspectos clave para garantizar que el diseño soporte las cargas aplicadas y sea operable por el usuario. Los resultados obtenidos son favorables y satisfactorios, lo que concluye en un diseño exitoso para proporcionar una experiencia efectiva y segura al usuario.

## 10. REFERENCIAS

- [1] Gda, M. P.-L. N. (argentina). (2023, febrero 11). 'Fitness': 10 tendencias que estarán presentes en 2023. El Tiempo. <https://www.eltiempo.com/salud/fitness-tendencias-de-ejercicios-para-el-2023-741117>
- [2] MIRANDA, Julián. ¿SALUD, FORMA FÍSICA, ESTÉTICA, BIENESTAR?, ¿QUE LLEVA AL USUARIO AL GIMNASIO? Apuntes. Educación física y deportes, 1991, vol. 4, no 26, p. 61-70.
- [3] Trujillo G., Luz María, Oetinger G., Astrid von, & García L., Daniela. (2020). Ejercicio físico y COVID-19: la importancia de mantenernos activos. Revista chilena de enfermedades respiratorias, 36(4), 334-340. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-73482020000400334>
- [4] Fleck, Steven J. & William J., Kraemer, 'Ballistic Training' in Designing Resistance Training Programmes, Leeds: Human Kinetics, 2013, p.280
- [5] U.S. Centers for Disease Control and Prevention, August 2006. U.S. Centers for Disease Control and Prevention [www.MSNBC.com](http://www.MSNBC.com).
- [6] Mujumdar D.C., The Encyclopedia of Indian Physical Culture, 1950, p.460, plate 131
- [7] CHULVI MEDRANO, I.; DÍAZ CANTALEJO, A. Eficacia y seguridad del press de banca: revisión. 2008.
- [8] 4 CONSEJOS fundamentales para mejorar tu press de banca [Anónimo]. Entrenamiento [página web]. Disponible en Internet: <<https://www.entrenamiento.com/musculacion/fuerza/consejos-para-mejorar-press-de-banca/>>.
- [9] Van der Wall, H., McLaughlin, A., Bruce, W., Frater, C.J., Kannangara, S. & Murray, I.P. (1999). Scintigraphic patterns of injury in amateurs weight lifters. Clin Nucl Med, 24 (12), 915-920.
- [10] SÁENZ, Gonzalo Cuadrado; ABELLA, Carlos Pablos; MANSO, Juan García. El entrenamiento de la hipertrofia muscular. Wanceulen SL, 2008.
- [11] MARTÍN-HERNÁNDEZ, J.; MARÍN, P. J.; HERRERO, A. J. Revisión de los procesos de hipertrofia muscular inducida por el entrenamiento de fuerza oclusivo. Revista Andaluza de Medicina del Deporte, 2011, vol. 4, no 4, p. 152-157.
- [12] NORTON, Robert L. Diseño de máquinas. 2016.
- [13] Lazo, O. R., & Rojas, L. R. (2006). Diseño asistido por computador. Industrial Data, 9(1), 7-15.

- [14] Cingualbres, R. E. (2020). Análisis por elementos finitos (FEA). CosmosWorks 2006. Editorial Universitaria (Cuba).
- [15] Cruz, A., & Garnica, A. (2011). Ergonomía aplicada. Ecoe Ediciones.
- [16] Morales, S. B. (2016). Análisis comparativo de un press de banca utilizando métodos de fuerza con y sin resistencia variable intra repetición (Doctoral dissertation, Universidad de Granada).
- [17] Ramírez, L. G. C., Jiménez, G. S. A., & Carreño, J. M. (2014). Sensores y actuadores. Grupo Editorial Patria.
- [18] Brown, L. E. (Ed.). (2007). Entrenamiento de la fuerza. Ed. Médica Panamericana.
- [19] Nautilus Nitro plus incline press. (2019, marzo 29). Used Gym Equipment; UsedGymEquipment.<https://www.usedgymequipment.com/shop/strength/selectorized/nautilus-nitro-plus-incline-press/>
- [20] Tonal. (2022, octubre 19). Tonal. <https://www.tonal.com/>
- [21] BlackBoxVR. (2020, septiembre 4). RESEARCH UPDATE: The surprising exercise science behind. Black Box VR. <https://www.blackbox-vr.com/research-update-the-surprising-exercise-science-behind-black-box-vr/>
- [22] DumbbellConnect adjustable dumbbells. (s/f). JAXJOX. Recuperado el 25 de noviembre de 2023, de <https://jaxjox.com/product/dumbbellconnect/>
- [23] Press de banca Plate Loaded Iso-Lateral. (s/f). Lifefitness-latinamerica.com. Recuperado el 19 de enero de 2024, de <https://www.lifefitness-latinamerica.com/es-lat/catalog/strength-training/plate-loaded/hammer-strength/iso-lateral-bench-press>
- [24] Air250 seated chest press. (2019, junio 15). Keiser; Tecno Sport. <https://keiser.es/keiser-fuerza/air250-seated-chest-press/>
- [25] Prestige strength VRS Chest Press. (s/f). Lifefitness.com. Recuperado el 25 de noviembre de 2023, de <https://www.lifefitness.com/en-us/cybex/prestige-strength-vrs-chest-press>
- [26] Avila-Chaurand, Rosalio & Prado-León, Lilia & González-Muñoz, Elvia. (2007). Dimensiones antropométricas de la población latinoamericana : México, Cuba, Colombia, Chile / R. Avila Chaurand, L.R. Prado León, E.L. González Muñoz.
- [27] Muscularstore. (2019, mayo 16). Press Banca, Cómo realizarlo correctamente. Muscular Store Blog. <https://www.muscularstore.es/blog/deporte/press-banca-como-realizarlo-correctamente/>
- [28] LightFieldStudios. (s/f). Athletic trainer helping sportsman lifting barbell with heavy weight. iStock. Recuperado el 31 de enero de 2024, de

<https://www.istockphoto.com/es/foto/entrenadora-ayudando-a-deportista-de-levantamiento-de-barra-con-placas-de-peso-en-gm1010019130-272256689>

[29] Rutina de Hipertrofia, Torso-Pierna. Semana 3 【2022】. (s/f). F6ebuy.shop. Recuperado el 31 de enero de 2024, de <https://f6ebuy.shop/ProductDetail.aspx?iid=286456424&pr=36.88>

[30] LOGO! Módulo Lógico. (2024, marzo 21). Siemens España. <https://www.siemens.com/es/es/productos/automatizacion/sistemas/simatic/controlador-es-simatic/logo.html>

[31] Millenium3, the logic controller for everyone, for everything by Crouzet. (s/f). Crouzet.com. Recuperado el 5 de abril de 2024, de <https://www.crouzet.com/products/automation-controllers/millenium-3/>

[32] Controllers. (s/f). Mitsubishielectric.com. Recuperado el 5 de abril de 2024, de <https://es.mitsubishielectric.com/fa/products/cnt/sac/alpha2-main-unit>

[33] Tubo rectangular 40 x 20 x 1.1mm Cal.18 x 6m Colmena. (s/f). FERROPAZ. Recuperado el 21 de enero de 2024, de [https://ferropaz.com/index.php?id\\_product=4&controller=product](https://ferropaz.com/index.php?id_product=4&controller=product)

[34] Tubo Rectangular 40 x 20 x 1.1mm C18 x 6m. (s/f). Com.co. Recuperado el 21 de enero de 2024, de <https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/183863/tubo-rectangular-40-x-20-x-11mm-c18-x-6m/183863/>

[35] Rodamiento Lineal LM8uu 8mm 8x15x24mm. (s/f). yorobotics. Recuperado el 23 de diciembre de 2023, de <https://yorobotics.co/producto/rodamiento-lineal-lm8uu-lm8-impresora-3d-cnc-8mm-balinera>

[36] Kap Componentes elétricos - Produtos. (n.d.). Wwww.kap.com.br. Retrieved January 21, 2024, from <https://www.kap.com.br/produtos/interruptores-de-pedal/serie-sp>

[37] Press banca plano con barra: ¿cómo debes ejecutarlo? (2022, agosto 29). Zona Wod - Revista Digital. <https://www.zonawod.com/press-banca-plano-barra-bench-press/>