



Diseño y construcción de una máquina elíptica para el circuito biosaludable de la Universidad Antonio Nariño sede Ibagué

**Juan Daniel Barreto Lozano
Víctor Andrey Cortes Bernal**

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Ibagué, Colombia
2021

Diseño y construcción de una máquina elíptica para el circuito biosaludable de la Universidad Antonio Nariño sede Ibagué

**Juan Daniel Barreto Lozano
Víctor Andrey Cortes Bernal**

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Mecánico

Director (a):
Ingeniera Sandy Mosquera

Línea de Investigación:
Diseño de máquinas.

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Ibagué, Colombia
2021

Dedicatoria

Deseo iniciar agradeciendo a mis padres quienes me dieron vida, amor, apoyo, educación, valores y buenos consejos, que me permitieron forjarme y ser la persona que soy hoy en día. A mi familia y personales especiales en mi vida, que me acompañaron en este proceso y saben las diferentes dificultades que tuve que afrontar a lo largo del camino para lograr este éxito a nivel profesional. A mis compañeros de la universidad y a mis maestros quienes me ayudaron a llegar al momento en el que me encuentro.

Este logro es en gran parte gracias a ustedes, a ese apoyo incondicional que me brindaron cada día para culminar mi tesis.

Juan Daniel Barreto

Este trabajo(tesis) de grado lo dedico en especial a mi madre Ruth Mery Bernal Escobar, quien fue y será por siempre mi más grande amor e inspiración, hace un par de meses partió a su encuentro con nuestro señor Jesucristo, y se llevó ese orgullo y felicidad de verme lograr mis sueños.

A mi esposa e hijos que son el motor de mi vida, a mi padre, hermanos y demás familiares por ser ese apoyo incondicional en estos momentos de dificultad, muchas gracias los llevaré por siempre en mi corazón.

También expreso toda mi gratitud a Dios quien día a día nos brinda salud y vida en abundancia.

A la universidad Antonio Nariño sede Ibagué que me abrió las puertas y me permitió realizar este proceso formativo y así mismo su culminación.

A todos y cada uno de los docentes que aportaron día a día su valioso conocimiento te me hicieron crecer día a día como profesional, a mi gran amigo y compañero de tesis que me brindó su confianza y amistad sincera, por toda la experiencia vivida y grandes recuerdos a todos mis compañeros muchas gracias...

Víctor Andrey Cortez

Resumen

En este documento se presenta el diseño y construcción de una máquina elíptica para el circuito bioslaudable localizado en la UAN Ibagué, para cumplir con este objetivo se ha establecido una metodología de carácter cuantitativa mediante la determinación de fuerzas y cargas en los diferentes elementos de los cuales se conforma la máquina elíptica y el uso de métodos analíticos y digitales que permitió determinar la geometría, dimensiones y materiales del equipo. Comprende tres fases, inicialmente un marco teórico donde se tratan aspectos relacionados con la ergonomía y la antropometría siendo esto necesario para comprender la forma como interactúa el hombre con la máquina al prevenir daños físicos en el usuario, igualmente como afectan las dimensiones del cuerpo y sus proporciones las dimensiones del equipo. En esta primera fase se culmina con la presentación del mecanismo de cuatro barras el cual es la base para el estudio cinemático de la máquina elíptica. En la segunda fase correspondiente a la ingeniería del proyecto se presenta el estudio de fuerzas y cargas bajo las cuales mediante métodos analíticos y soporte en software de elementos finitos definidos los materiales y dimensiones de las diferentes piezas del mecanismo se determinaron deformación, máximo esfuerzo de von Mises y factores de seguridad mínimos. Finalmente en una tercera fase se presentan los resultados, aquí se llevó a cabo la construcción de la máquina, prueba de soldadura y elaboración de manual de mantenimiento.

Se entrega un producto confiable, seguro para los usuarios los cuales pueden ser de diferentes edades y estaturas (mayores de 7 años, mínimo 120 cm de altura, máximo 150 Kg de peso)

Palabras clave: Máquina elíptica, mecanismo, ergonomía, antropometría, confiabilidad.

Abstract

This document presents the design and construction of an elliptical machine for the bioslaudable circuit located in the UAN Ibagué, to meet this objective a quantitative methodology has been established by determining the forces and loads in the different elements of which the elliptical machine is formed and the use of analytical and digital methods that allowed to determine the geometry, dimensions and materials of the equipment. It comprises three phases, initially a theoretical framework where aspects related to ergonomics and anthropometry are dealt with, this being necessary to understand how man interacts with the machine by preventing physical damage to the user, as well as how the dimensions of the body and its proportion the dimensions of the equipment. This first phase culminates with the presentation of the four-bar mechanism, which is the basis for the kinematic study of the elliptical machine. In the second phase corresponding to the engineering of the project, the study of forces and loads under which through analytical methods and finite element software support, materials and dimensions of the different parts of the mechanism are determined, deformation, maximum stress were also determined. von Misses and minimum safety factors. Finally, in a third phase, the results are presented, here the construction of the machine, welding test and development of the maintenance manual were carried out.

A reliable product is delivered, safe for users who can be of different ages and heights (over 7 years old, minimum 120 cm in height, maximum 150 kg in weight)

Keywords: Elliptical machine, mechanism, ergonomics, anthropometry, reliability.

Contenido

	Pág.
Resumen	IX
Lista de figuras	XIII
Lista de tablas	XVI
Introducción	1
1. Objetivos	3
1.1 Objetivo general.....	3
1.1.1 Objetivos específicos	3
1.2 Justificación	3
1.3 Planteamiento del problema	4
1.4 Metodología	5
2. Marco teórico	6
2.1 Maquina elíptica.....	6
2.2 Ergonomía	7
2.2.1 Ergonomía y diseño	8
2.2.2 Manual de instrucciones.....	10
2.2.3 Diseño dimensional	10
2.3 Antropometría.....	10
2.3.1 Diseñar para una persona.....	11
2.3.2 Diseño para un grupo.....	11
2.3.3 Diseño para una población.....	12
2.3.4 Medidas antropométricas de la población colombiana.	13
2.4 Mecanismo de cuatro barras.....	15
2.4.1 Análisis de posición.....	16
2.4.2 Condición de Grashoff.....	17
3. Ingeniería del proyecto	20
3.1 Dimensionado maquina elíptica de acuerdo a la antropometría.....	20
3.2 Análisis de posición, velocidad y aceleración.....	21
3.2.1 Verificación de la condición de Grashoff.....	23
3.2.2 Determinación por software de velocidad y aceleración	24
3.3 Análisis estático	26
3.4 Diseño eje de rotación en O_1	28
3.5 Diseño del eje en O_2	31
3.6 Diseño de la estructura	35

3.6.1	Chasis	35
3.6.2	Biela	38
3.6.3	Pedales.....	40
3.6.4	Eslabón de brazo.....	42
3.6.5	Uniones soldadas	44
3.7	Selección de elementos rodantes.....	47
4.	Fabricación y mantenimiento.....	49
4.1	Corte de metal.....	49
4.2	Torneado.....	51
4.3	Soldadura.....	52
4.4	Ensamble y acabado	52
4.5	Mantenimiento.....	53
5.	Resultados	56
5.1	Características	57
5.2	Costos.....	57
6.	Conclusiones y recomendaciones	59
6.1	Conclusiones.....	59
6.2	Recomendaciones.....	60
	Bibliografía.....	76

Lista de figuras

Figura 2.1 <i>Máquina elíptica exterior</i>	6
Figura 2.2 <i>Dimensiones antropométricas niñez de 7 años</i>	13
Figura 2.3 <i>Dimensiones antropométricas adultos</i>	14
Figura 2.4 <i>Mecanismo de 4 barras maquina elíptica</i>	16
Figura 2.5 <i>Análisis de posición</i>	16
Figura 2.6 <i>Inversiones cinemáticas en mecanismo de cuatro barras</i>	18
Figura 3.1 <i>Dimensiones del mecanismo de cuatro barras para adulto</i>	20
Figura 3.2 <i>Dimensiones antropométricas niño de 7 años sobre Elíptica</i>	21
Figura 3.3 <i>Análisis de posición</i>	22
Figura 3.4 <i>Condición de Grashoff en maquina elíptica</i>	23
Figura 3.5 <i>Velocidad y aceleración para eslabón r2</i>	24
Figura 3.6 <i>Velocidad y aceleración eslabón r3</i>	25
Figura 3.7 <i>Velocidad y aceleración eslabón r4</i>	25
Figura 3.8 <i>Diagrama de Cuerpo Libre (DCL) mecanismo elíptica</i>	26
Figura 3.9 <i>DCL eslabón r3</i>	27
Figura 3.10 <i>DCL eslabón r2</i>	27
Figura 3.11 <i>DCL eslabón r4</i>	27
Figura 3.12 <i>Eje en O1 geometría propuesta</i>	28
Figura 3.13 <i>Diagramas de fuerzas cortantes y momentos flectores para eje O1</i>	29
Figura 3.14 <i>Eje en O1 geometría definitiva</i>	31
Figura 3.15 <i>Eje en O2 geometría propuesta</i>	32
Figura 3.16 <i>Diagramas de fuerzas cortantes y momentos flectores para eje O2</i>	33
Figura 3.17 <i>Eje en O2 geometría definitiva</i>	35
Figura 3.18 <i>Fuerzas en el chasis</i>	35
Figura 3.19 <i>Estado de esfuerzos en el chasis</i>	36
Figura 3.20 <i>Desplazamiento estático del chasis</i>	37
Figura 3.21 <i>Factor de seguridad en el chasis</i>	37

Figura 3.22 <i>Fuerza en la biela (eslabón R2)</i>	38
Figura 3.23 <i>Estado de esfuerzos en la biela</i>	38
Figura 3.24 <i>Desplazamiento estático en la biela</i>	39
Figura 3.25 <i>Factor de seguridad en la biela</i>	39
Figura 3.26 <i>Fuerza en el Pedal</i>	40
Figura 3.27 <i>Estado de esfuerzos en el pedal (eslabón R3)</i>	40
Figura 3.28 <i>Estado de deformación en eslabón R3</i>	41
Figura 3.29 <i>Factor de seguridad en eslabón R3</i>	41
Figura 3.30 <i>Fuerzas en eslabón de brazo R4</i>	42
Figura 3.31 <i>Estado tensional de esfuerzos en eslabón de brazo</i>	43
Figura 3.32 <i>Máximo desplazamiento en eslabón de brazo</i>	43
Figura 3.33 <i>Factor de seguridad en eslabón de brazo</i>	44
Figura 3.34 <i>Eje O2 a chasis cordón de soldadura</i>	45
Figura 3.35 <i>Cordón de soldadura eslabón R3 a platina articulación B</i>	46
Figura 3.36 <i>Catálogo de productos SKF rodamientos de bolas para eje O1</i>	47
Figura 3.37 <i>Catálogo de productos SKF rodamientos de bolas para eje O2 y articulaciones A y B</i>	48
Figura 4.1 <i>Proceso de fabricación elíptica</i>	49
Figura 4.2 <i>Corte con tronadora de tubería para el chasis</i>	50
Figura 4.3 <i>Corte con plasma en pantógrafo de la biela</i>	50
Figura 4.4 <i>Diferentes piezas dispuestas después del corte de metal</i>	51
Figura 4.5 <i>Proceso de torneado de bujes</i>	51
Figura 4.6 <i>Proceso de soldadura MIG ER70 en la elíptica</i>	52
Figura 5.1 <i>Prueba de la maquina elíptica con niño</i>	56
Figura 5.2 <i>Prueba de la maquina elíptica con adulto</i>	56

Lista de tablas

Tabla 2.1 <i>Peligros presentes en las máquinas</i>	8
Tabla 2.2 <i>Dimensiones antropométricas niños de 7 años</i>	13
Tabla 2.3 <i>Dimensiones antropométricas adultos</i>	15
Tabla 3.1 <i>Angulo de salida del mecanismo de cuatro barras</i>	22
Tabla 3.2 <i>Factores para estimar la resistencia real a la fatiga eje O1</i>	30
Tabla 3.3 <i>Factores para estimar la resistencia real a la fatiga eje O2</i>	34
Tabla 4.1 <i>Mantenimiento preventivo cada 6 meses</i>	53
Tabla 4.2 <i>Mantenimiento anualizado</i>	54
Tabla 4.3 <i>Orden de trabajo</i>	55
Tabla 5.1 <i>Características de la maquina elíptica</i>	57
Tabla 5.2 <i>Costo total de maquina elíptica por unidad</i>	58

Introducción

Los circuitos biosaludables buscan la mejora en salud de los usuarios mediante la ejercitación en diferentes máquinas obteniendo beneficios físicos, psicológicos y sociales. Dichos circuitos están constituidos por máquinas de calentamiento las cuales están destinadas a la preparación del cuerpo para una actividad mayor (en el circuito biosaludable UAN existen el timón, bicicleta estática y la cintura). Máquinas de coordinación de movimiento destinadas a mejorar la capacidad de los músculos para sincronizarse bajo parámetros de trayectoria y movimiento (que en la actualidad solo cuenta con una sola, la máquina surf). Y máquinas de ejercicios cuyo objetivo es la activación muscular (Columpio y Pony). Con este proyecto se complementa el grupo de máquinas de coordinación de movimiento con la máquina elíptica.

Así mismo en el diseño de los parques biosaludables se deben considerar algunos aspectos teóricos relacionados con la actividad física, la continuidad, la condición física, calidad de vida y el sedentarismo como elementos que están relacionados con el bienestar de las personas y con el proceso de envejecimiento permitiendo a las personas activas físicamente contar con una mejor calidad de vida relacionada con la salud y la actividad física.

Una vez consultadas diferentes fuentes con el objetivo de brindar un marco de referencia y establecer un estado del arte, podemos citar los siguientes trabajos relacionados con el mismo tema en un contexto internacional y nacional:

Ayuntamiento de Jerez (España), 2015. Proyecto de instalación de circuitos biosaludables en espacios públicos de la ciudad. Consiste en un proyecto de implementación de máquinas destinadas al acondicionamiento físico de los habitantes de Jerez de la Frontera (España), allí se describe la concepción de parque biosaludable, los beneficios que conlleva la práctica de la actividad física y se clasifican y describen los diferentes equipos de los cuales se conforma un circuito de este tipo.

Herrera Lascano, 2011 (Ambato, Ecuador). Diseño y construcción de un máquina de gimnasio para realizar rutinas de ejercicios con fuerza relativa. El objetivo de esta investigación fue el diseño de una máquina que emplease como fuerza el propio peso corporal del deportista, para ello el autor realizó un estudio estadístico en treinta personas para establecer las variables de diseño y funcionalidad del equipo.

Pizarro, 2017 (Barcelona, España). Diseño de una maquina elíptica para exterior. Este proyecto trata sobre el diseño de una maquina multifuncional considerando aspectos en el diseño, tales como cargas, esfuerzos y análisis de fatiga, normativa europea relacionada con el diseño e implantación en exteriores del equipo.

González Rubio et al., 2019 (Girardot, Colombia), Diseño y construcción del parque biosaludable en el barrio Villampiss. Aquí los autores presentan un plan de gerencia dirigido a las autoridades del municipio con el fin de aprobar la construcción de un parque biosaludable en zona vulnerable. El proyecto fue acompañado por informes técnicos, económicos, financieros, sociales y ambientales.

Valencia, Torres, 2020 (Ibagué, Colombia), Diseño y construcción maquina biosaludable pony. El objetivo de los autores fue establecer una metodología para el diseño de una maquina en el circuito biosaludable de la Universidad Antonio Nariño sede Ibagué, basada en el análisis estático, el estudio antropométrico y ergonomía, diseñaron y construyeron una máquina para ejercicio.

Se espera con el desarrollo de esta investigación definir los conceptos teóricos necesarios que permitan establecer las variables de carga y funcionalidad para el diseño mecánico de la máquina y construir el equipo diseñado con los parámetros establecidos en el tiempo y costo proyectado, también establecer una metodología que involucre mecanismos, diseño de máquinas y aspectos estéticos y ergonómicos. Se espera que la máquina elíptica sea utilizada por toda la comunidad universitaria Antonio Nariño sede Ibagué y sus visitantes de forma correcta teniendo en cuenta que el objetivo final es la salud física y mental de los usuarios.

1. Objetivos

Con el objetivo de complementar el circuito biosaludable de la Universidad de una manera confiable y segura, considerando aspectos ergonómicos y antropométricos, y contribuir al bienestar de la comunidad universitaria y visitantes en general de la sede se plantea el diseño y construcción del equipo llamado elíptica.

1.1 Objetivo general

Diseñar y construir una maquina elíptica para el circuito biosaludable de la Universidad Antonio Nariño sede Ibagué.

1.1.1 Objetivos específicos

- Definir los conceptos de ergonomía, antropometría y mecanismo de cuatro barras mediante consulta en diferentes fuentes para establecer el marco teórico del proyecto.
- Realizar el diseño mecánico del equipo de manera analítica y con el empleo de elementos finitos, para garantizar la integridad estructural de la máquina.
- Elaborar planos y presentar los diferentes procesos de fabricación durante la construcción de la maquina elíptica.
- Presentar los costos de fabricación, ensayo no destructivo de soldadura con tintas penetrantes a las uniones más críticas según estudio estático de fuerzas, realizar pruebas de funcionamiento con personas de diferente talla para verificar la ergonomía y manual de mantenimiento.

1.2 Justificación

La mayoría de equipos que conforman el circuito biosaludable de la Universidad fueron contruidos por estudiantes de la asignatura mecánica industrial sin tener en consideración factores como la ergonomía, antropometría y confiabilidad, solamente con el propósito

inicial de ser fuente para la práctica de diferentes procesos de fabricación y al mismo tiempo como aporte desde proyección social a la comunidad universitaria. Aunque con el proyecto del diseño de la maquina pony (Valencia & Torres, 2020) se estableció una metodología a seguir considerando los factores mencionados en la introducción, sin embargo está limitada a mecanismos con las mismas características dinámicas y cinemáticas. Con este proyecto se busca diseñar y construir una maquina biosaludable segura para los usuarios y ergonómica; establecer una metodología que abarque conceptos teóricos desde los mecanismos, dinámica, estática y diseño de máquinas, para futuros proyectos.

Con la instalación de la elíptica en el circuito biosaludable de la sede se complementan los equipos existentes para la coordinación de movimiento y se contribuye a la mejora de la salud de la comunidad UAN en cuanto al estado físico, mental y la prevención de enfermedades asociadas al sedentarismo.

1.3 Planteamiento del problema

La mayoría de equipos que conforman el circuito biosaludable de la Universidad fueron contruidos por estudiantes de la asignatura mecánica industrial sin tener en consideración factores como la ergonomía, antropometría y confiabilidad, solamente con el propósito inicial de ser fuente para la práctica de diferentes procesos de fabricación y al mismo tiempo como aporte desde proyección social a la comunidad universitaria en temas de bienestar físico y mental. Claramente con el proyecto del diseño de la maquina pony se estableció una metodología a seguir considerando los factores antes mencionados, sin embargo está limitada a mecanismos con las mismas características dinámicas y cinemáticas. Por otra parte y como se mencionó en la introducción, el circuito biosaludable de la Universidad Antonio Nariño sede Ibagué requiere ser complementado con una máquina para coordinación de movimientos, pues solo existe la maquina Surf. Con el objetivo de complementar el circuito biosaludable de una manera confiable y segura, y contribuir al bienestar de la comunidad universitaria y visitantes en general se plantea la pregunta de investigación ¿Es posible diseñar y construir una maquina elíptica para el circuito biosaludable de la universidad Antonio Nariño sede Ibagué? Se propone la maquina elíptica al ser considerada una de las más completas en cuanto a que trabaja los grupos musculares superiores e inferiores, así como el sistema cardiovascular.

1.4 Metodología

Por su naturaleza, la metodología de este proyecto es de carácter cuantitativa, mediante la determinación de fuerzas y cargas en los diferentes elementos de los cuales se conforma la maquina elíptica y el uso de métodos analíticos y digitales se determinara la geometría, dimensiones y materiales del equipo. Por el tipo de investigación corresponde al diseño de un proyecto, con un corte transversal.

Para cumplir con los objetivos propuestos se formulan una serie de fases:

Fase preliminar. En ella se llevará a cabo la revisión bibliográfica referente al marco teórico, se definirán conceptos tales como ergonomía, antropometría y el estudio cinemático de un mecanismo de cuatro barras, fundamental para establecer el comportamiento cinemático de la maquina elíptica.

Fase de diseño. Una vez establecidos los parámetros de funcionalidad en la primera fase, se llevará a cabo el diseño de los diferentes componentes de la máquina, partiendo de un análisis estático, dinámico y fatiga según corresponda.

Fase de resultados. Aquí se llevara a cabo la construcción del equipo, ensayo no destructivo de soldadura con tintas penetrantes, realizar pruebas de funcionamiento con personas de diferente talla para verificar la ergonomía y funcionalidad, elaboración de manual de mantenimiento y revisión final del documento.

2. Marco teórico

En este capítulo se definen los principales conceptos teóricos considerados para llevar a cabo el diseño y posterior construcción de la máquina elíptica, las diferentes fuentes consultadas que dan soporte a este espacio obedece principalmente a libros, artículos científicos y medios electrónicos, para cada uno de los subcapítulos se recopiló la información más relevante.

Damos inicio al marco teórico presentando la máquina objeto de este estudio, luego continuamos con el concepto de ergonomía y como esta se relaciona con la antropometría para definir la forma y dimensiones del equipo a diseñar, posteriormente se presentan las características de un mecanismo de cuatro barras, el cual es la base para el estudio cinemático de la elíptica.

2.1 Máquina elíptica

Es un mecanismo de cuatro barras (barra brazo, pedal, biela y chasis) por costado del usuario, el movimiento en las barras de brazo y pedales ejercitan tanto el grupo muscular superior como el inferior al simular el movimiento de caminata o trote según la intensidad del ejercicio. En la figura 2.1 se presenta una máquina elíptica para uso exterior en circuitos biosaludables.

Figura 2.1 *Máquina elíptica exterior*



Nota: Adaptado de ArchiEXPO (<https://www.archiexpo.es/fabricante-arquitectura-design/maquina-eliptica-5001.html>)

Es una de las máquinas más populares en los circuitos por su accesibilidad, la fuerza requerida para su funcionamiento es menor que en otras y los beneficios generados por su empleo periódico son tónicos, aeróbicos y cardiopulmonares: permite metabolizar las grasas, mejorar la resistencia pulmonar y cardíaca, y tonificar los grupos musculares de piernas, muslos, glúteos y brazos.

Como usar la máquina elíptica. Tal como se mencionó con anterioridad, la elíptica pertenece al grupo de máquinas para coordinación de movimiento, para su empleo es necesario primero realizar un calentamiento ya sea en las máquinas diseñadas para tal fin (en el circuito biosaludable UAN existen el timón, bicicleta estática y la cintura) o con rutinas de estiramiento de los grupos musculares superior e inferior. Se debe sujetar con las manos las barras de brazo antes de subir los pies sobre los pedales.

Rutina. Se debe iniciar con una frecuencia de rotación baja durante aproximadamente cinco minutos, después se aumenta dicha frecuencia a media durante unos veinte minutos más, finalmente se baja de nuevo la intensidad durante otros cinco minutos hasta finalizar el ejercicio (por cada 30 minutos de ejercicio a media intensidad se queman aproximadamente 300 calorías). Se recomienda no exceder el ritmo de pedaleo (rpm) en 75% de la frecuencia cardíaca máxima del usuario. (WEBRUN Grupo Z, 2016)

Restricciones y contraindicaciones. Considerando que se requiere de esfuerzo físico en los grupos musculares superior e inferior, se debe suspender la rutina en caso de sentir dolor en algún músculo. Si el usuario presenta algún tipo de lesión previa no se recomienda su uso. La posición del usuario debe ser erguida (espalda vertical) y no encorvarse durante la rutina ni de puntillas en los pies.

2.2 Ergonomía

La ergonomía tradicionalmente se ha definido por varios autores de diferentes maneras dependiendo del enfoque en el cual se enmarcan, así por ejemplo se define desde la filosofía y antropología o desde la técnica con un elemento común el cual es la adaptación de la máquina o del trabajo al hombre.

Almirall Hernández (2018), la define citando a diferentes autores; la ergonomía es una “disciplina pluridisciplinaria que estudia y busca la adaptación recíproca, constante y sistemática del trabajo, de las condiciones técnicas y organizacionales del hombre, así

como la relación armónica de este con el medio ambiente” (Gutiérrez, 1992). También se concibe como la “disciplina que permite adaptar el trabajo al ser humano que lo ejecuta” (Wisner, 1998) y finalmente Zinchenko y Munipov (1985) definen la ergonomía como una “disciplina científica que estudia integralmente al hombre en las condiciones concretas de su actividad relacionada con el empleo de las máquinas”.

Generalizando el concepto relacionándolo con la ingeniería y el diseño indicaría que es la adecuación del instrumento y ambiente de trabajo al trabajador, cuyo objetivo es el desarrollo de modelos biomecánicos, diseño de máquinas y herramientas más adecuadas a las características antropométricas de una población.

2.2.1 Ergonomía y diseño

En general cuando se diseña una máquina se busca cumplir con varios aspectos, inicialmente que sea técnicamente viable (cumpla con estándares de calidad a un precio razonable), amigable con el medio ambiente, la buena presentación (estética) y desde luego la ergonomía. Por esta razón en este subcapítulo se presentan los aspectos ergonómicos que se deben considerar en el proceso de diseño de la máquina elíptica para hacerla más segura, cómoda y que no tenga afectaciones a la salud del usuario.

Un método para prevenir o minimizar los riesgos es en el origen, es decir desde la concepción de la máquina, por ello es importante primero definir los tipos de peligros a los cuales se expone un usuario, en la tabla 2.1 se presentan algunos peligros presentes en las máquinas según su origen.

Tabla 2.1 *Peligros presentes en las máquinas*

Según su origen	Descripción
Mecánico	Daño físico por movimientos de rotación, traslación y oscilación
Eléctrico	Electrocución y quemaduras por descargas eléctricas
Térmico	Quemaduras por temperaturas extremas
Acústico	Daño auditivo por ruido
Por los materiales	Daño dermatológico por fricción y alergias
Por no respetar los principios de la ergonomía	Lesiones parciales o permanentes en músculos, articulaciones y sistema nervioso.

De acuerdo al origen se logra identificar para el diseño en marcha que el principal peligro según su origen es de carácter mecánico, como se comprenderá la forma de interacción entre la máquina y el usuario es directa, es la persona mediante fuerza propia quien acciona los diferentes elementos de los cuales se compone la máquina para producir movimientos de rotación, traslación y oscilación. El diseño ergonómico indica que cuando el usuario manipula para conseguir respuesta de la máquina se hace preciso considerar la capacidad de la persona (fuerza, visión, memoria, antropometría), confirmación (la persona debe saber si está en función la máquina), resistencia (estática, elástica, inercial), textura (rugosidad, dureza), efectividad (mano de preferencia, tipo de movimiento, empleo de guantes). No hay componente eléctrico, acústico ni térmico. En relación a los materiales, solo la piel de las manos estaría en contacto directo con la máquina.

Como uno de los objetivos es el diseño seguro se deben considerar los siguientes protocolos de diseño (Mata Cabrera, 2004):

1. Determinar los límites del equipo: de espacio, tiempo, empleo.
2. Identificar los peligros en las diferentes etapas: fabricación, montaje, utilización (buena y mala) y mantenimiento.
3. Reducir riesgos mediante la prevención:
 - Evitar las aristas vivas o filos cortantes, ángulos agudos y partes sobresalientes.
 - Las fuerzas de accionamiento deben ser bajas.
 - Minimizar la fuerza de inercia en las partes móviles.
 - Evitar en lo posible el ruido y las vibraciones.
 - Los movimientos de las partes móviles deben estar bien definidos.
4. Suministrar al usuario información sobre el uso y los peligros asociados al mal empleo de la máquina en cuestión.
5. Condiciones ambientales. Como parte del confort durante el ejercicio físico no se puede dejar de lado otros aspectos, tales como: la buena iluminación de preferencia natural, la temperatura ambiente (como el equipo es para uso exterior, se debe disponer a la sombra), buena ventilación, el ruido y vibración se deben mitigar con ajustes correctos en las partes móviles y buena lubricación; el ruido puede desencadenar problemas auditivos una vez superados los niveles y el tiempo de exposición. Algunas acciones son:
 - Utilizar los ajustes y tolerancias dimensionales adecuadas.

- Anclaje del equipo a tierra para absorción de vibraciones.
- Análisis dinámico en las partes móviles para controlar fuerzas inerciales.
- Establecer las velocidades y aceleraciones máximas en los componentes móviles, tales como ejes.

El diseño de un equipo afecta la postura del usuario durante la rutina de ejercicio, una mala postura puede manifestarse de inmediato o con el tiempo dando lugar a lesiones musculoesqueléticas (dolores lumbares, de cuello, tendinitis, calambres)

Aunque no son de carácter ergonómico, durante el proceso de diseño se debe considerar la protección de órganos en movimiento, para el caso particular de ejes de rotación mediante el uso de carcazas.

2.2.2 Manual de instrucciones

Para disminuir en cierta proporción las consecuencias negativas de los riesgos asociados al mal empleo de cualquier dispositivo, en este caso particular para la máquina elíptica se debe presentar un manual por parte de quien diseña o fabrica como compromiso ante la seguridad de los usuarios o de un cliente; dicho manual debe informar sobre peligros, advertencias de seguridad, modo de uso previsto, especificaciones y recomendaciones. El manual de instrucciones para la máquina elíptica se presenta en el Anexo 1.

2.2.3 Diseño dimensional

Cuando se considera el diseño ergonómico se hace necesario considerar el tamaño de la máquina (altura, máxima extensión de las extremidades), de la zona donde estará instalada y la postura del usuario; para ello se hace también indispensable los datos antropométricos para ser incorporados en el diseño y evitar problemas de seguridad y salud.

2.3 Antropometría

Del subcapítulo anterior podemos concluir que para reducir lesiones es necesario diseñar equipos, herramientas, muebles, etc., considerando parámetros ergonómicos; también se mencionó que para realizar un diseño adecuado también es necesario involucrar la antropometría (estudio de las dimensiones y proporciones del cuerpo), inicialmente se

debe saber a quién va dirigido: una persona en particular, un grupo o una población (ERGO CV, 2020).

2.3.1 Diseñar para una persona

Es el caso particular cuando se requiere elaborar o fabricar un bien que solo será utilizado por una persona en particular debido a alguna característica física también particular, por ejemplo: las sillas de los monoplazas de fórmula uno, aquí se elabora un molde a partir del torso del piloto para fabricar la silla. Otro ejemplo es la elaboración de un vestido por parte de un sastre o modista, en este caso se debe tomar las dimensiones antropométricas de la persona. Sería la mejor opción para todos, pero no la más práctica y económica, si la silla del piloto o el traje hecho a medida deben ser utilizados por otras personas, la ergonomía se perderá.

2.3.2 Diseño para un grupo

Cuando se considera que un bien material (herramienta, maquina, etc.) será utilizado por un grupo de personas se consideraran tres variantes en el diseño antropométrico: diseño para extremos, un intervalo ajustable y diseño para el promedio.

- Diseño para extremos: en esta variante se toman las dimensiones de la persona más baja o pequeña del grupo, así como las dimensiones de la persona más alta o grande (de talla), al diseñar por ejemplo un mueble, este debe servir para las dos personas en cuestión (por ende al resto del grupo), de lo contrario se incurriría en un fallo en la ergonomía. El mueble no debe quedar tan grande para la persona de talla baja, ni tan pequeño para la persona de talla grande. Al diseñar con esta variante la cuestión que debemos resolver es ¿quiénes tendrán dificultades para utilizar la máquina, herramienta o mueble diseñado?
- Un intervalo ajustable. Esta variante de diseño implica la aparición de mecanismos que permitan ajustar una dimensión (por ejemplo altura), una posición (horizontal a vertical y viceversa) en un mueble, maquina o herramienta brindando la posibilidad de que un número grande de personas pueden acceder al empleo o uso del bien. Dicho mecanismo desde luego aumentara el costo final del equipo diseñado. Al diseñar con esta variante la cuestión que debemos resolver es ¿Cuál es el intervalo de ajuste para la máquina, herramienta o mueble diseñado?

- Diseño para el promedio. Aquí se considera el valor promedio de una o varias dimensiones antropométricas para el dimensionamiento de un bien, con el problema que personas por encima de esa media no pudieran utilizar dicho producto o lo hicieran con problemas de ergonomía, con los consecuentes problemas de seguridad y deterioro de la salud. De las tres variantes de diseño antropométrico para un grupo es la menos empleada.

2.3.3 Diseño para una población

Cuando se diseñan productos de consumo masivo o que serán utilizados por una población numerosa y de talla variable, se recurre entonces a métodos estadísticos para determinar las dimensiones antropométricas con las cuales se dimensionara el bien material, maquina o herramienta. Se debe seleccionar una muestra representativa de la población a la cual va dirigido el producto mediante la siguiente ecuación:

$$n = \frac{Z^2 \times \sigma^2}{e^2}$$

Donde:

n: tamaño de la muestra

σ : desviación estándar

Z: nivel de confianza

e: error admitido

Estimado el valor de la muestra, se puede obtener para cada dimensión un valor promedio y la desviación estándar. Para el diseño antropométrico se utilizará entonces las mismas variantes que para un grupo: intervalo ajustable o diseño para extremos, con percentiles.

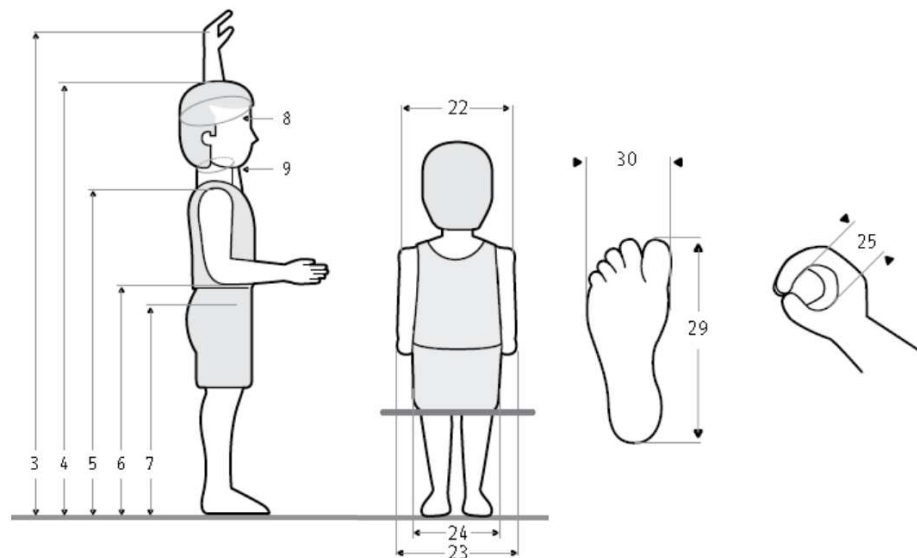
- Intervalo ajustable: se utilizara los valores entre P₅ y el P₉₅
- Diseño para extremos: se utilizara el P₅ para mínimos o el P₉₅ para máximos según corresponda.

Una vez establecidos estos parámetros es claro que el diseño de la maquina elíptica debe ser construido con valores antropométricos para el percentil P₉₅ (máximos) con la posibilidad que personas de menor talla puedan utilizar el equipo mediante alargamiento de superficies apoya pies (pedales) y sujeción de las manos en barras de brazo extendiendo manetas hacia abajo, sin afectaciones a la posición y la ergonomía.

2.3.4 Medidas antropométricas de la población colombiana.

En el presente subcapítulo se resume y se presentan los resultados del estudio antropométrico para Colombia para diferentes edades y ambos géneros, presentados por Ávila, Prado y González (2007) para ser utilizado por diseñadores. Los estudios oficiales (por parte del estado) están dirigidos a temas médicos y de salud (desarrollo nutricional). El estudio tomo una muestra de 500 niños (250 niños y 250 niñas de 7 años de edad) de la ciudad de Bogotá, se tomaron diferentes medidas pero solo se presentaran las de interés en este diseño. En la figura 2.2 y la tabla correspondiente se muestran las dimensiones antropométricas en posición de pie, sentado, de las manos y pies.

Figura 2.2 Dimensiones antropométricas niñez de 7 años



Nota: Adaptado de Ávila, R., Prado, L., & González, E. (2007). Dimensiones antropométricas de la población colombiana.

Tabla 2.2 Dimensiones antropométricas niños de 7 años

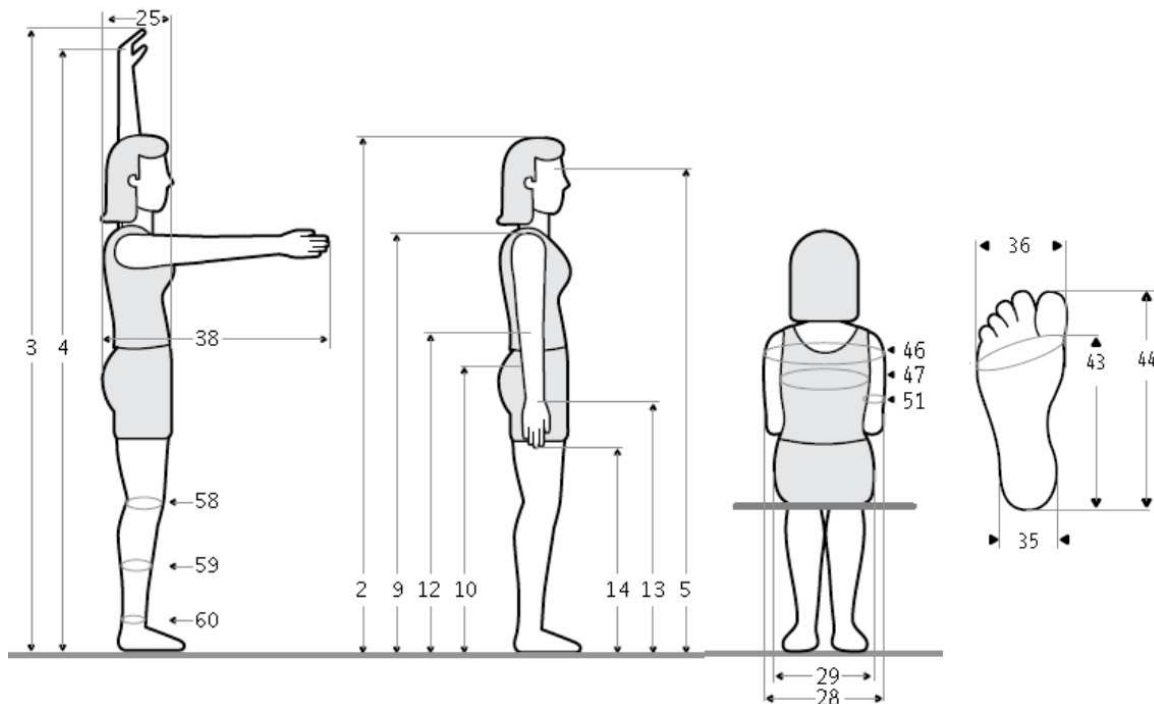
Dimensiones		7 años niña			7 años niño				
		media	percentiles		media	percentiles			
			5	50		95	5	50	95
1	peso	22,4	18,5	22	27	22,4	19,6	22	28
2	I.M.C.	10,3	9,6	10,2	10,9	10,4	10,5	10,2	11,3
3	Alcance vertical máximo	147,4	138,5	146,7	157,4	146,5	136,5	146,8	157,7
4	Estatura	120,2	113,5	120,4	128	118,7	112,3	119,4	125,4
5	Piso-hombro	95,8	90,6	94,4	103,9	94,2	88,8	94,2	100,6

6	Piso-codo	71,7	67	71	78,4	71,1	65,1	71,2	76,1
7	Piso-cadera	65,6	60,1	65,1	73,7	62,6	57,6	61,9	68,5
22	Ancho-hombros	29,3	26,5	29	31,8	29	26,3	29	31,7
23	Ancho-codos	32,2	26,7	33	35,8	31,7	26	33,3	34,7
24	Ancho-cadera	22,5	20	22,8	24,3	23,4	22	22,5	27
25	Diámetro de agarre	2,9	2,5	3	3,4	2,9	2,5	3	3,2
29	Largo pie	18,5	16,3	18,6	19,9	18,4	16,4	18,6	20,1
30	Ancho pie	6,8	6,2	6,8	7,6	7,2	6,2	7,2	8,4

Nota: Adaptado de Ávila, R., Prado, L., & González, E. (2007). Dimensiones antropométricas de la población colombiana. (Dimensiones en cm y peso en kg)

Para el estudio de la población en edad laboral de 20 a 59 años la muestra fue de 2100 personas de diferentes regiones del país (785 femenino, 1315 masculino). Se dividió en grupos por edades de 20 a 39 años y 40 a 59. Se presentan los resultados para el grupo de 20 a 39 años teniendo en cuenta la población a la cual va dirigida la máquina (comunidad universitaria UAN) obsérvese la figura 2,3 y la tabla 2,3.

Figura 2.3 Dimensiones antropométricas adultos



Nota: Adaptado de Ávila, R., Prado, L., & González, E. (2007). Dimensiones antropométricas de la población colombiana.

Tabla 2.3 Dimensiones antropométricas adultos

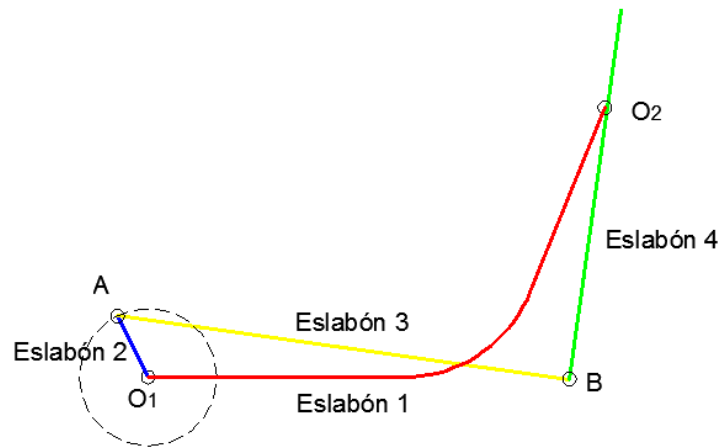
Dimensiones		20-39 años femenino				20-39 años masculino			
		media	percentiles			media	percentiles		
			5	50	95		5	50	95
1	Peso	59,3	46,9	58,9	74,5	71,2	55,8	70,4	87,7
2	Estatura	155,8	148,3	155,6	166,1	168,9	158,3	169,4	178,5
3	Alcance vertical máximo	195,1	184,1	194,9	209,5	213,3	198,2	213,8	226,1
9	Piso-hombro	128	120,3	127,0	136,3	127,3	120,3	126,8	135,8
10	Altura cadera	92,6	86,6	92,2	100,5	100,4	92,6	100,8	107,6
28	Anchura codo a codo	40,9	34,6	40,4	48	45,3	38,1	45,5	52,4
29	Anchura de la cadera	37,4	32,6	37,5	42,4	35,2	31,1	35,1	39,2
36	Ancho del pie	8,9	8,2	9	9,9	9,9	9,1	9,9	10,8
38	Alcance brazo	65,7	60,9	65,6	71,3	71,2	65,7	71,3	76,7
44	Largo pie	18,4	17	18,5	19,8	20,3	18,8	20,4	21,8

Nota: Adaptado de Ávila, R., Prado, L., & González, E. (2007). Dimensiones antropométricas de la población colombiana.

Dimensiones en centímetros y peso en kilogramos

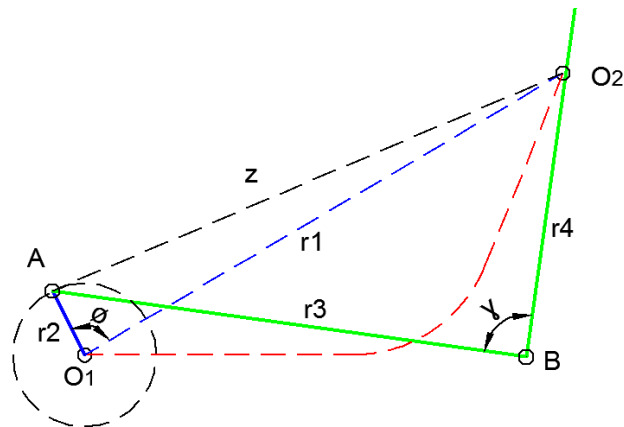
2.4 Mecanismo de cuatro barras

La máquina elíptica es básicamente un mecanismo de 4 barras por cada lado del usuario, consta de unos eslabones unidos en unas juntas (ejes o pernos en O_1 , A, B y O_2) y donde al menos uno de ellos esta fijo al marco de referencia, en este caso el chasis de la figura 1.1, o el eslabón 1 de la figura 2.4 (eslabón O_1 - O_2); el eslabón 2 (O_1 -A) corresponde a la biela para la cual se debe garantizar mediante la condición de Grashoff que tendrá rotación completa; el eslabón 3 (A-B) es el conector y sobre el cual se apoyan los pies del usuario (pedal) describe una trayectoria elíptica y finalmente el eslabón 4 (B- O_2) o eslabón de salida quien presenta un movimiento oscilatorio. Cuando se realiza un diseño como el de la maquina elíptica se busca mediante el análisis de mecanismos la funcionalidad de la misma, es decir, que no se presenten puntos muertos (detención en posiciones extremas) y que se cumpla la condición de Grashoff, para ello se realiza un estudio de posición que puede ser mediante ecuaciones algebraicas, métodos gráficos o mediante software especializado. Así mismo se realiza análisis de velocidad y aceleración cuando las velocidades y masa de los eslabones son altas.

Figura 2.4 Mecanismo de 4 barras maquina elíptica

2.4.1 Análisis de posición

Adicionalmente a los puntos muertos también se requiere calcular el ángulo de salida, para el caso de la elíptica el eslabón 1 (r_2) es la entrada (rotación completa) y el ángulo de salida es entre los eslabones 3 y 4 (γ : gamma entre r_3 y r_4) tal como se ilustra en la figura 2.5.

Figura 2.5 Análisis de posición

Se puede determinar el ángulo de salida mediante la Ley del coseno para los triángulos O_1AO_2 y ABO_2 , por igualación se obtiene una expresión para gamma, el valor de z se determina con cualquiera de las expresiones iniciales. En general lo que se espera es que el ángulo de salida sea diferente a 0° o 180° , es decir, que los eslabones 3 y 4 no sean colineales, de lo contrario se pueden presentar agarrotamientos o puntos muertos.

$$z^2 = r1^2 + r2^2 - 2r1r2\cos\phi$$

$$z^2 = r3^2 + r4^2 - 2r3r4\cos\gamma$$

Igualando ambas expresiones y despejando gamma:

$$z^2 = r1^2 + r2^2 - 2r1r2\cos\phi = z^2 = r3^2 + r4^2 - 2r3r4\cos\gamma$$

$$\gamma = \cos^{-1} \left[\frac{r1^2 + r2^2 - 2r1r2\cos\phi - r3^2 - r4^2}{-2r3r4} \right]$$

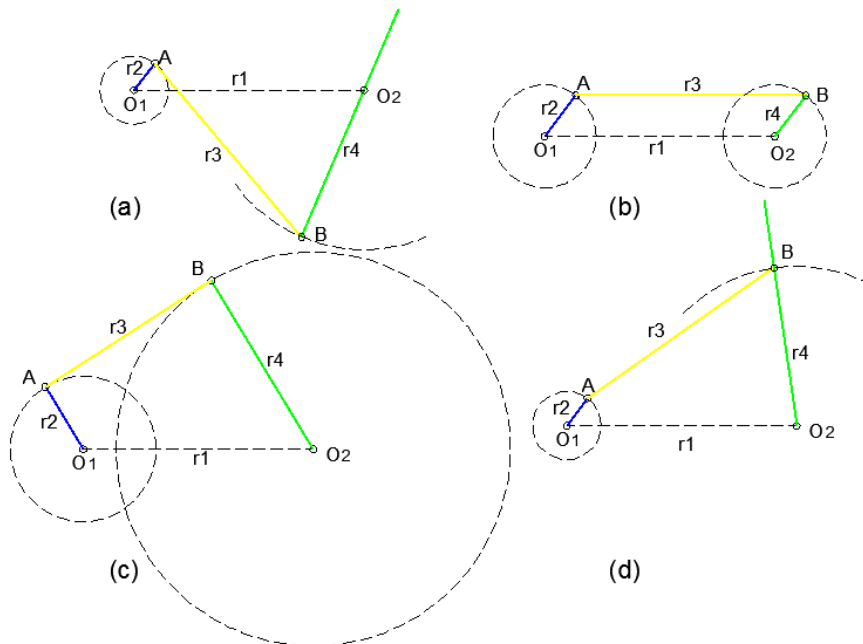
$$\gamma = \cos^{-1} \left[\frac{z^2 - r3^2 - r4^2}{-2r3r4} \right]$$

Los valores de r1, r2, r3 y r4, así como el ángulo ϕ son conocidos.

En general un ángulo de 90° entre los eslabones 3 y 4 durante el ciclo de rotación del eslabón 2, permite una mejor transmisión de fuerza en el mecanismo. El procedimiento para determinar el ángulo de salida γ del mecanismo de cuatro barras en función del ángulo de entrada ϕ , es conocido como análisis de posición, como se menciono puede ser algebraico, grafico o mediante software. (Mabie & Reinholtz, 2016)

2.4.2 Condición de Grashoff

La condición de Grashoff es una ecuación empleada para garantizar que exista un movimiento continuo entre los eslabones y definir el tipo de movimiento que estas realizaran dependiendo de la configuración de las mismas (inversiones cinemáticas). Un mecanismo de cuatro barras puede estar dispuestos en diferentes formas, tal como se puede apreciar en la figura 2.6, en la figura (a) los eslabones r1 y r3 se han cruzado teniendo como resultado un movimiento de rotación completa en r2 y salida oscilante en r4; en (b) tanto r2 como r4 tienen la misma longitud y aparecen paralelos entre sí, presentándose rotación completa en ambos eslabones, mientras en r3 se presenta un movimiento elíptico; en la figura (c) también se presenta rotación completa en los eslabones r2 y r4, se le denomina mecanismo de retorno rápido; en (d) se presenta el mecanismo de cuatro barras abierto, es decir sin cruce en sus eslabones, ante una rotación completa del eslabón de entrada r2, se presenta movimiento elíptico en r3 y oscilación en r4.

Figura 2.6 Inversiones cinemáticas en mecanismo de cuatro barras

Nota: Adaptado de Mabie y Reinholtz (2016). Mecanismo de cuatro barras. Mecanismos y dinámica

Como el objetivo al realizar el análisis de posición es evitar los puntos muertos se deben mantener las siguientes relaciones entre los eslabones:

$$O_1A \text{ y } O_2B > O_1O_2$$

$$(O_1A - O_1O_2) + AB > O_2B$$

$$(O_2B - O_1O_2) + O_2A > AB$$

Otra forma de denominar al mecanismo de cuatro barras es por el tipo de movimiento que presenta, así por ejemplo si \$r_2\$ gira y \$r_4\$ oscila (figura 2.6 a y d) se llama balancín de manivela; doble manivela si tanto \$r_2\$ como \$r_4\$ giran completamente (figura 2.6 b y c); doble balancín cuando el eslabón de entrada como el de salida (\$r_2\$ y \$r_4\$ respectivamente) oscilan.

Mabie y Reinholtz (2016) señalan que lograr identificar el mecanismo de cuatro barras según el movimiento se puede lograr mediante la denominada Ley de Grashoff, la cual indica que "si la suma de las longitudes del eslabón más largo (L) y el más corto (S) es menor que la suma de las longitudes de los otros dos (P y Q), se forman:

- Dos balancines de manivela distintos cuando el eslabón más corto es la manivela y cuando cualquiera de los otros dos eslabones es el eslabón fijo.
- Una doble manivela cuando el eslabón más corto es el fijo.
- Un doble balancín cuando el eslabón opuesto al más corto es el fijo.”

$$S + L \leq P + Q$$

Los mecanismos de doble balancín se producen cuando la suma de las longitudes del eslabón más largo con el corto es mayor que la suma de los otros dos eslabones. Cuando se presenta una igualdad en la suma entre el largo y corto con la suma de los otros dos se pueden presentar cambios no deseados en el giro de alguno de los eslabones.

El objetivo del análisis cinemático de un mecanismo de cuatro barras es determinar las posiciones, velocidades y aceleraciones de los eslabones en movimiento, para determinar la aceleración primero se estiman las velocidades, pero antes las posiciones angulares y lineales, los cambios de posición angular se pueden hacer en incrementos de 1° a la vez ($0^\circ < \phi < 360^\circ$) según criterio del diseñador, sin embargo esto resultaría en un trabajo dispendioso, por ello se recurre a programas de computadora para la resolución de múltiples ecuaciones con múltiples incógnitas.

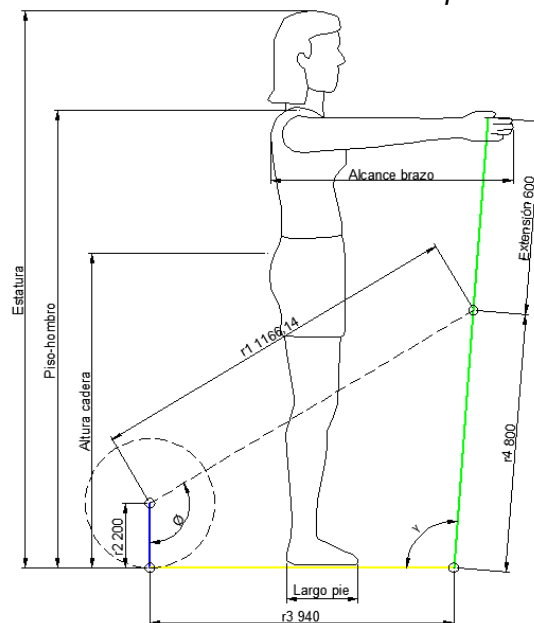
3. Ingeniería del proyecto

En este capítulo se presentan inicialmente el dimensionado del mecanismo de cuatro barras considerando las dimensiones antropométricas para la población colombiana, a partir de allí se verifica la funcionalidad del mecanismo, después mediante software se establecen las velocidades y aceleraciones de cada miembro. Posteriormente se desarrolla el análisis estático para determinar las fuerzas en el mecanismo, se diseñan los ejes de rotación en la articulación O_1 y O_2 , se determinan los esfuerzos, deformaciones y factores de seguridad para los diferentes elementos estructurales de la máquina elíptica y finalmente se seleccionan componentes comerciales.

3.1 Dimensionado máquina elíptica de acuerdo a la antropometría.

A partir de las dimensiones antropométricas de la población colombiana considerando edades entre los 20 y 39 años con un percentil 95 para hombre (figura 2.2 y tabla 2.3) presentados en el subcapítulo 2.2.4 se dimensionan los eslabones del mecanismo de cuatro barras, entre sus articulaciones tal como se observa en la figura 3.1

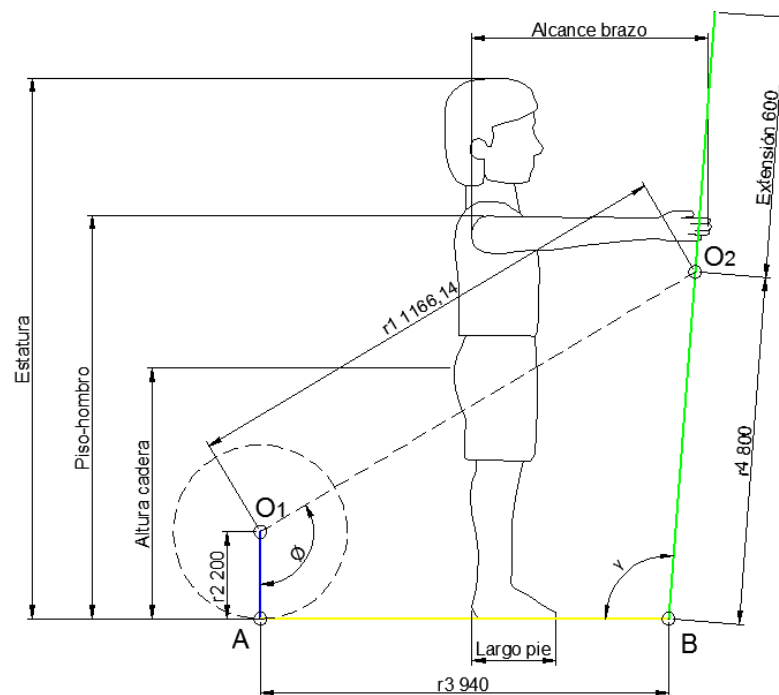
Figura 3.1 Dimensiones del mecanismo de cuatro barras para adulto



Dónde: Estatura 178,5 cm; Piso-Hombro 135,8 cm; Alcance brazo 76,2 cm; Altura cadera 107,6 cm; Largo pie 21,8 cm; r_1 1166,14 mm; r_2 200 mm; r_3 940 mm y r_4 800mm. El ángulo de entrada es ϕ (entre r_1 y r_2) el de salida es γ (entre r_3 y r_4).

Para un niño de 7 años en el percentil 95 (subcapítulo 2.2.4 figura 2.1 y tabla 2.2) las dimensiones de los eslabones y la posición de las articulaciones también se ajustan para su uso, según se muestra en la figura 3.2. Estatura 125,4 cm; Piso-Hombro 100,6 cm; Alcance brazo 54,4 cm; Altura cadera 68,5 cm; Largo pie 20,1 cm. Se observa que la posición de la mano se encuentra sobre la extensión del eslabón r_4 , lo cual permite el accionamiento del mecanismo y el trabajo sobre el grupo muscular superior.

Figura 3.2 Dimensiones antropométricas niño de 7 años sobre Elíptica



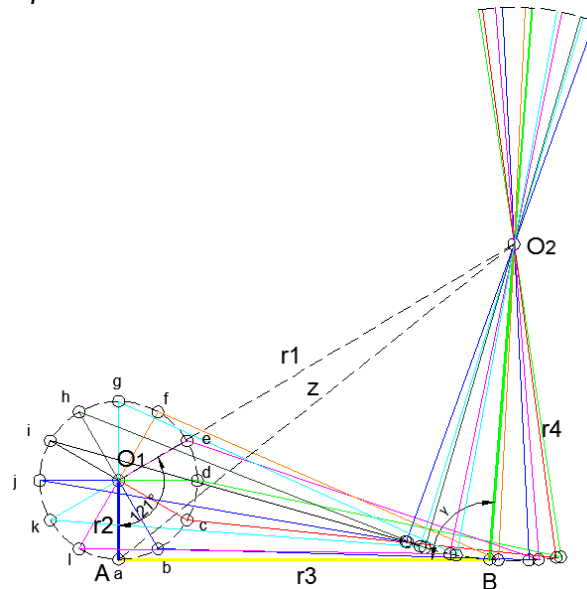
Se establece una geometría de la máquina elíptica para el uso de niños desde los 7 años, hasta adultos ubicados en el percentil 95 en el rango de edades de 20 a 39 años.

3.2 Análisis de posición, velocidad y aceleración

Una vez dimensionado los eslabones se procede a determinar que no existan puntos muertos tal como se mencionó en el subcapítulo 2.3.1, esto se logra mediante las

ecuaciones presentadas en este numeral y cuyo resultado se presenta en la tabla 3.1 para 12 posiciones según se aprecia en la figura 3.3.

Figura 3.3 *Análisis de posición*



En la figura se observa que el ángulo de entrada θ entre r_1 y r_2 cuando la biela (r_2) está en posición vertical hacia abajo es de 121° y el ángulo de salida γ es de 94° ; r_1 1166,14 mm; r_2 200 mm; r_3 940 mm y r_4 800 mm.

Tabla 3.1 *Angulo de salida del mecanismo de cuatro barras*

posición	ángulo de entrada φ	distancia junta A-O2 (z)	ángulo de salida γ
O1-a	121	1280,22	94
O1-b	91	1186,02	86
O1-c	61	1081,54	76
O1-d	31	999,68	70
O1-e	1	966,17	67
O1-f	29	996,29	69
O1-g	59	1077,42	76
O1-h	89	1180,31	85
O1-i	119	1275,64	94
O1-j	149	1341,8	101
O1-k	179	1366,13	103
O1-l	209	1344,32	101

$$z^2 = r_1^2 + r_2^2 - 2r_1r_2\cos\varphi$$

$$\gamma = \cos^{-1} \left[\frac{z^2 - r_3^2 - r_4^2}{-2r_3r_4} \right]$$

Como se puede observar el ángulo de salida no se acerca a los 0 o 180°, por tanto no hay en el mecanismo puntos muertos.

3.2.1 Verificación de la condición de Grashoff

Al determinar la condición de Grashoff se quiere garantizar que exista un movimiento continuo entre los eslabones y definir el tipo de movimiento que estas realizaran, en este caso la maquina elíptica debe pertenecer al grupo balancín de manivela (r2 gira y r4 oscila). Mabie y Reinholtz (2016) señalan que “si la suma de las longitudes del eslabón más largo (L) y el más corto (S) es menor que la suma de las longitudes de los otros dos (P y Q), se garantiza la funcionalidad del mecanismo”. En la figura 3.4 se determinan las dimensiones de los eslabones y se aplica la condición de Grashoff según la siguiente ecuación:

$$S + L \leq P + Q$$

$$200 + 1166,14 \leq 940 + 800$$

$$1366,14 \leq 1740$$

Donde:

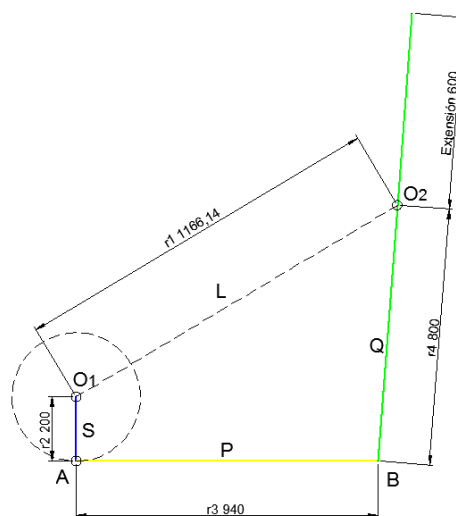
S: 200 mm

L: 1166,14 mm

P: 940 mm

Q: 800 mm

Figura 3.4 Condición de Grashoff en maquina elíptica



Queda demostrada la condición de Grashoff como un balancín de manivela.

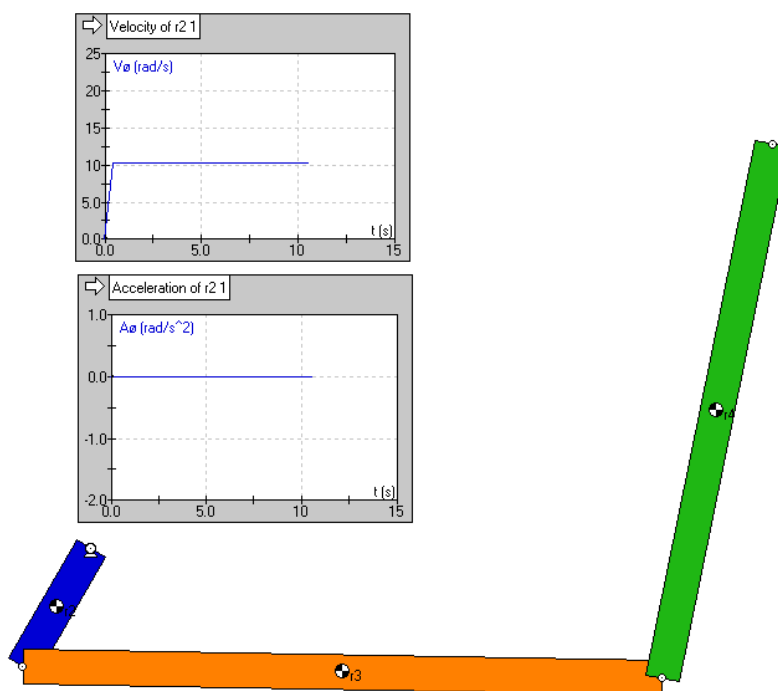
3.2.2 Determinación por software de velocidad y aceleración

Realizado el análisis de posición se procede al análisis de velocidad y aceleración mediante software Working Model 2D, para ello se estima una frecuencia de rotación máxima de 100 rpm (10,4 rad/s) considerando que se recomienda no exceder el ritmo de pedaleo (rpm) en 75% de la frecuencia cardiaca máxima del usuario (WEBRUN Grupo Z, 2016), para determinar la frecuencia cardiaca máxima se resta a 220 la edad. (MedlinePlus, 2021) Considerando una edad de usuario máxima de 80 años, se tiene que:

$$rpm = \frac{(220 - 80)}{100} \times 75\% \cong 100rpm$$

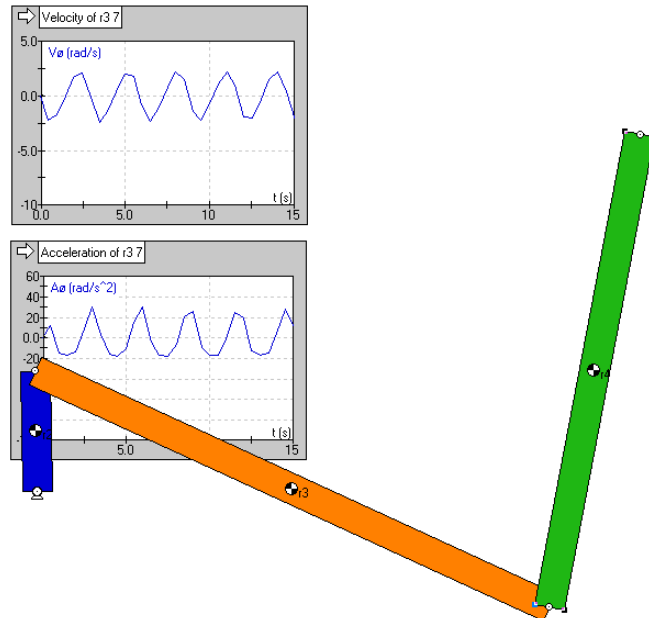
Para el eslabón r2, con una velocidad de rotación de 100 rpm (10,4 rad/s) constante, el centro de masa tiene una aceleración de 0, según se observa en la figura 3.5.

Figura 3.5 Velocidad y aceleración para eslabón r2



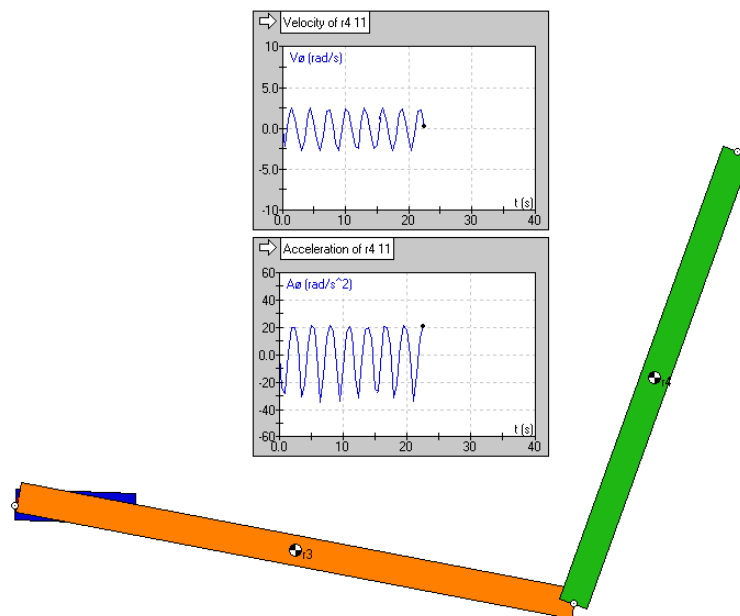
Para el eslabón r3, la velocidad máxima en el centro de masa y su aceleración es de 2,5 rad/s y 30 rad/s² respectivamente tal como se muestra en la figura 3,6.

Figura 3.6 Velocidad y aceleración eslabón r3



En el eslabón r4 se observa según la figura 3,7 que la velocidad máxima es de 2,5 rad/s y la aceleración en el centro de masa corresponde a -30 rad/s^2 (el signo negativo indica un sentido de rotación anti horario)

Figura 3.7 Velocidad y aceleración eslabón r4



Del estudio cinemático se puede concluir que ante una frecuencia de rotación del eslabón de entrada r_2 de 100 rpm (10 rad/s) las velocidades y aceleraciones en los elementos del mecanismo máximos son de 10 rad/s en el eslabón r_2 y 30 rad/s² en los eslabones r_3 y r_4 .

3.3 Análisis estático

El equipo está diseñado para ser utilizado por un solo usuario; considerando el percentil 95 para el peso de un adulto de género masculino de 87,7 kg y un factor dinámico de 2 según la norma UNE-EN 16630 (equipos fijos de entrenamiento físico), se determina la carga de diseño y las reacciones en las articulaciones: (véase figura 3,8)

$$P = m \times g \times C_d$$

$$P = 87,7 \text{ kg} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 2 = 1721 \text{ N}$$

Donde:

P: carga de diseño en Newton

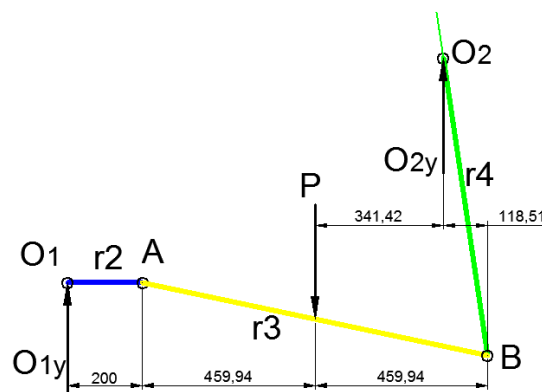
m: es la masa del usuario en kg

g: gravedad en m/s²

Cd: factor dinámico de diseño

Ahora se determinaran las fuerzas en cada articulación del mecanismo (O_1 , A, B y O_2) ante la carga de diseño considerando que el usuario en algún instante puede estar apoyando su peso en un solo pedal (eslabón r_3) y despreciando el peso de la estructura.

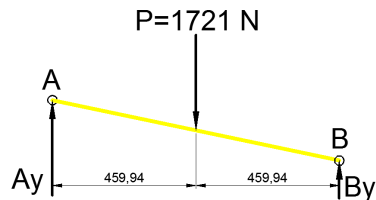
Figura 3.8 Diagrama de Cuerpo Libre (DCL) mecanismo elíptica



Nota: Dimensiones en mm

Para el eslabón r3 se determina las reacciones en las articulaciones A y B mediante las ecuaciones de equilibrio estático y el DCL de la figura 3.9

Figura 3.9 DCL eslabón r3



$$\Sigma M_A = 0; \quad 459,94P - 919,88B_y = 0$$

$$P = 2B_y$$

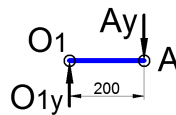
$$860,5N = B_y$$

$$\Sigma F_y = 0; \quad A_y + B_y - P = 0$$

$$A_y = 860,5N$$

Una vez determinada la fuerza A_y se estima la reacción en O_1 del eslabón r2 mediante el DCL de la figura 3,10 y las ecuaciones de equilibrio estático.

Figura 3.10 DCL eslabón r2

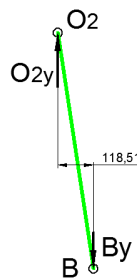


$$\Sigma F_y = 0; \quad -A_y + O_{1y} = 0$$

$$O_{1y} = 860,5N$$

En el eslabón r4 se calcula la reacción en O_2 conocida la fuerza en B_y mediante las ecuaciones de equilibrio estático y el DCL de la figura 3.11

Figura 3.11 DCL eslabón r4



$$\Sigma F_y = 0; -B_y + O_{2y} = 0$$

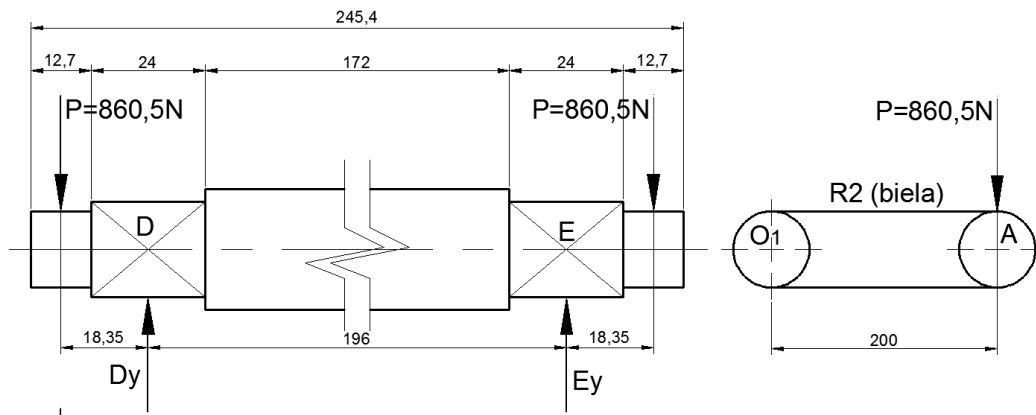
$$O_{2y} = 860,5N$$

El análisis estático del mecanismo de cuatro barras se ha realizado para una posición horizontal del eslabón r2, sin embargo se ha logrado demostrar para diferentes posiciones que las fuerzas en las articulaciones son las mismas.

3.4 Diseño eje de rotación en O₁

A continuación se determina el diámetro mínimo del eje localizado en la articulación O₁ del mecanismo sometido a esfuerzos combinados de torsión y flexión invertida para carga con fatiga. A partir de una geometría propuesta (longitudes) donde los apoyos son rodamientos en los puntos D y E de la figura 3.12 se estiman las reacciones y se trazan los diagramas de fuerzas cortantes y momentos flectores para establecer los valores máximos así como su localización. El material seleccionado para el diseño es un acero AISI 1020 maquinado y estirado en frío, cuya resistencia última a la tensión es de 470 MPA (S_y). Posteriormente se determina la resistencia última a la fatiga considerando los diferentes factores de diseño incluido el factor de seguridad, para finalmente mediante la teoría de distorsión determinar el diámetro del eje y su configuración definitiva.

Figura 3.12 Eje en O₁ geometría propuesta



Nota: Dimensiones en milímetros

T es el torque producido por la biela al eje de 172,1 Nm ($860,5N \times 200mm$)

P es la carga generada por el usuario de 860,5 N (análisis estático figura 3.10)

Dy y Ey son las reacciones en los apoyos

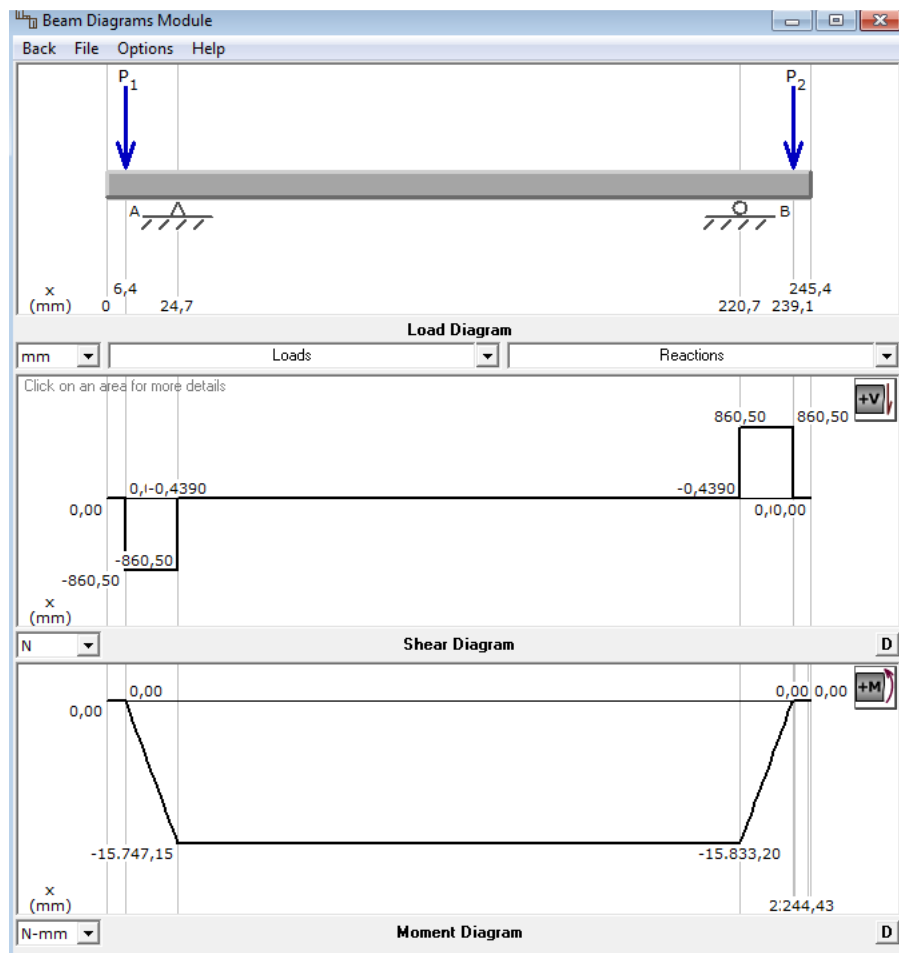
Luego por equilibrio estático, tenemos que:

$$\begin{aligned} \Sigma MD = 0; P(0,01835) + Ey(0,196) - P(0,214) &= 0 \\ 860,5(0,01835) + Ey(0,196) - 860,5(0,214) &= 0 \\ 15,8 + 0,196Ey - 184,44 &= 0 \\ Ey &= 860,5 \text{ N} \end{aligned}$$

Por sumatoria de fuerzas en Y:

$$\begin{aligned} \Sigma FY = 0; Dy + Ey - 2P &= 0 \\ Dy + 860,5 - 1721 &= 0 \\ Dy &= 860,5 \text{ N} \end{aligned}$$

Figura 3.13 Diagramas de fuerzas cortantes y momentos flectores para eje O1



Nota: diagramas obtenidos en MDSolids 3.5 por el autor.

Longitudes en milímetros, cargas verticales en N, momentos en Nm

De la figura 3.13 se observa que el cortante máximo se presenta en la zona del apoyo y corresponde a 860,5 N, mientras el momento máximo se presenta en el cambio de sección y es de 15,74 Nm.

Ahora se determina el diámetro del eje sometido a esfuerzos combinados de torsión y flexión invertida para carga con fatiga mediante la ecuación de energía de distorsión (Mott, 2006)

$$D = \left[\left(\frac{32N}{\pi} \right) \sqrt{\left(\frac{K_T M}{S'n} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{T}{S_y} \right)^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

Donde:

$N=2$: es el factor de diseño (de seguridad) para diseños típicos de ejes cuando hay confianza en los datos de resistencia del material y las cargas. (Mott, 2006, pag. 185)

$K_T=2.5$: concentrador de esfuerzos por escalonamiento para chaflán agudo (Mott, 2006, pag. 542)

$M=15,74 \text{ Nm}$: momento máximo en el diagrama de la figura 3.13

$T=172.1 \text{ Nm}$: torque máximo y constante en el eje

$S_y=470 \text{ MPa}$: resistencia ultima a la tensión acero maquinado y estirado en frio AISI 1020

$S'n$: Resistencia a la fatiga real estimada, la cual se calcula mediante:

$$S'n = S_n(C_m)(C_n)(C_R)(C_s)$$

Tabla 3.2 Factores para estimar la resistencia real a la fatiga eje O1

Factor	Símbolo	Valor	Fuente
Resistencia a la fatiga modificada	S_n	190 MPa	Mott, 2006. Figura 5-8, página 175
Factor por material	C_m	1,0	Mott, 2006. Acero forjado, página 174
Factor de tipo para flexión invertida	C_n	1,0	Mott, 2006. Tipo de esfuerzo, página 174
Factor de confiabilidad deseado	C_R	0,81	Mott, 2006. Tabla 5-1, página 175
Factor de tamaño para sección circular	C_s	0,88	Mott, 2006. Figura 5-9, página 175

Nota: la resistencia a la fatiga modificada S_n se obtiene de la curva para la condición maquinado o estirado en frio vs resistencia a la tensión de 470 MPa. Para el factor de tamaño de sección circular se asume un $D=25\text{mm}$

Luego evaluando la ecuación de Resistencia a la fatiga real estimada se tiene:

$$S'n = S_n(C_m)(C_n)(C_R)(C_s)$$

$$S'n = 190(1,0)(1,0)(0,81)(0,88)$$

$$S'n = 135,43 \text{ MPa}$$

El diámetro para el eje en O1 entonces será:

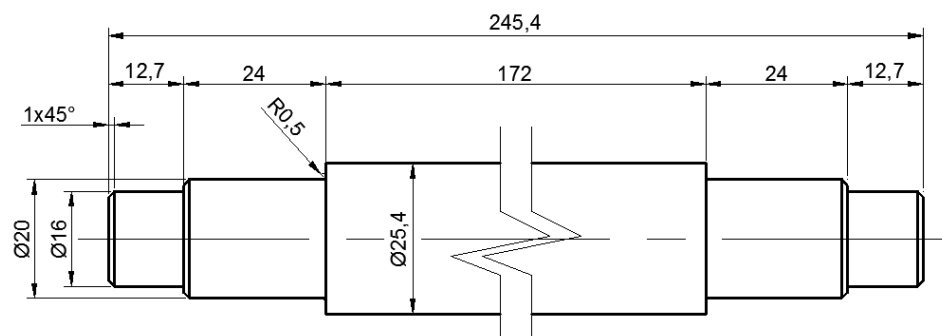
$$D = \left[\left(\frac{32x2}{\pi} \right) \sqrt{\left(\frac{K_T M}{S'n} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{T}{S_y} \right)^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$D = \left[\left(\frac{32x2}{\pi} \right) \sqrt{\left(\frac{2,5x15,74}{135,43x10^6} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{172,1}{470x10^6} \right)^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$D = 0,02m$$

Establecido el diámetro se presenta la geometría definitiva en la figura 3.14 considerando que en los extremos del eje la fuerza cortante y el momento flector según el diagrama de la figura 3.13 son mínimos.

Figura 3.14 Eje en O1 geometría definitiva



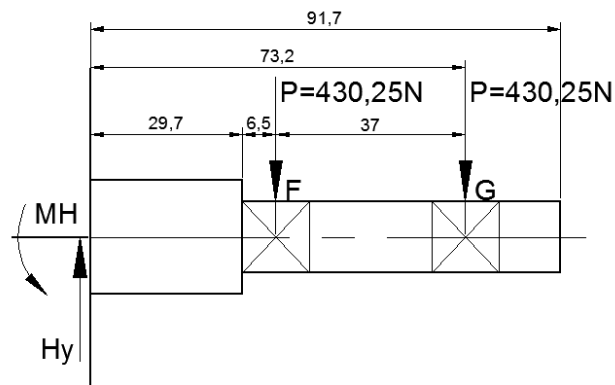
Nota: Dimensiones en milímetros

3.5 Diseño del eje en O₂

A continuación se determina el diámetro mínimo del eje localizado en la articulación O2 del mecanismo sometido a esfuerzo cortante y flexión. A partir de una geometría propuesta (longitudes) donde el apoyo es un empotramiento en la estructura de la máquina y las cargas son transmitidas por un par de rodamientos en los puntos F y G de la figura 3.15 se estiman las reacciones y se trazan los diagramas de fuerzas cortantes y momentos flectores para establecer los valores máximos así como su localización. El material seleccionado para el diseño es un acero AISI 1020 maquinado y estirado en frío, cuya

resistencia última a la tensión es de 470 MPA (S_y). Posteriormente se determina la resistencia última a la fatiga considerando los diferentes factores de diseño incluido el factor de seguridad, para finalmente mediante la teoría de distorsión que considera al esfuerzo cortante determinar el diámetro del eje y su configuración definitiva. El eje en O2 no presenta torsión.

Figura 3.15 Eje en O2 geometría propuesta



Nota: Dimensiones en milímetros

P es la carga generada por el usuario de 860,5 N distribuida en dos apoyos (análisis estático figura 3.11)

H_y y M_H son las reacciones en los apoyos.

Luego por equilibrio estático, tenemos que:

$$\sum M_H = 0; M_H - P(0,0362) - P(0,0732) = 0$$

$$M_H - 15,57 - 31,49 = 0$$

$$M_H = 47,06 \text{ Nm}$$

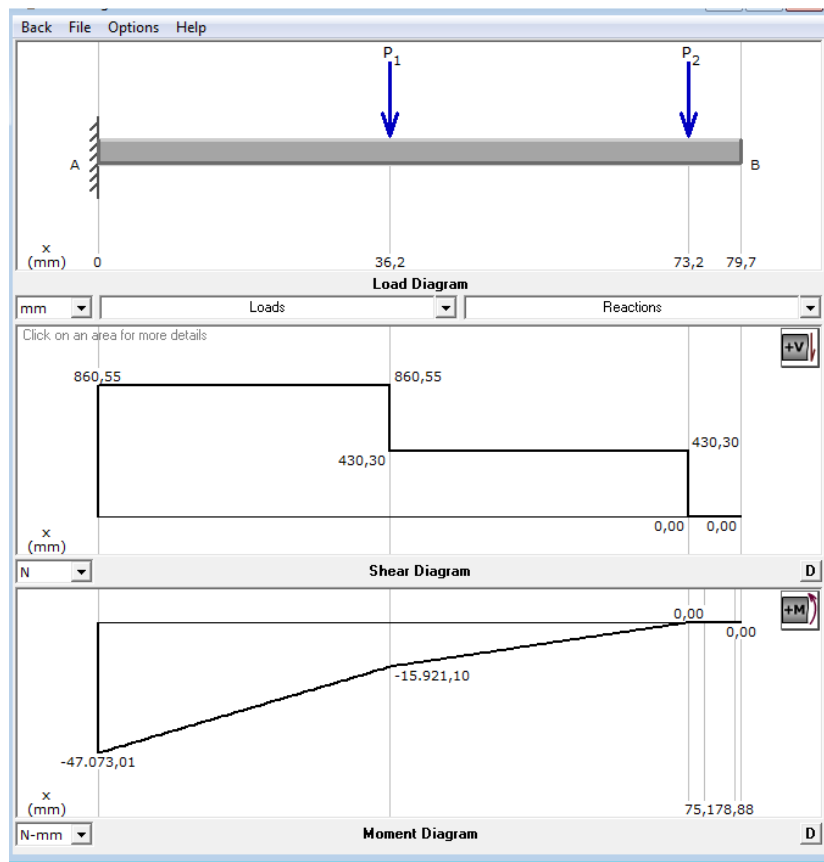
Por sumatoria de fuerzas en Y:

$$\sum F_Y = 0; H_y - P - P = 0$$

$$H_y - 430,25 - 430,25 = 0$$

$$H_y = 860,5 \text{ N}$$

Figura 3.16 Diagramas de fuerzas cortantes y momentos flectores para eje O2



Nota: diagramas obtenidos en MDSolids 3.5 por el autor.

Longitudes en milímetros, cargas verticales en N, momentos en Nm

De la figura 3.16 se observa que el cortante máximo se presenta en el empotramiento y corresponde a 860,5 N, mientras el momento máximo es de 47,06 Nm.

Ahora se determina el diámetro del eje sometido principalmente a fuerza cortante para carga con fatiga mediante la ecuación de energía de distorsión (Mott, 2006), mientras el esfuerzo por flexión es bajo.

$$D = \sqrt{2,94K_TVN/S'n}$$

Donde:

N=2: es el factor de diseño (de seguridad) para diseños típicos de ejes cuando hay confianza en los datos de resistencia del material y las cargas. (Mott, 2006, pag. 185)

$K_T=2.5$: concentrador de esfuerzos por escalonamiento para chaflán agudo (Mott, 2006, pag. 542)

$V=860,5 N$: cortante máximo en el diagrama de la figura 3.16

$S'n$: Resistencia a la fatiga real estimada, la cual se calcula mediante:

$$S'n = S_n(C_m)(C_n)(C_R)(C_s)$$

Tabla 3.3 Factores para estimar la resistencia real a la fatiga eje O2

Factor	Símbolo	Valor	Fuente
Resistencia a la fatiga modificada	S_n	190 MPa	Mott, 2006. Figura 5-8, página 175
Factor por material	C_m	1,0	Mott, 2006. Acero forjado, página 174
Factor de tipo para flexión invertida	C_n	1,0	Mott, 2006. Tipo de esfuerzo, página 174
Factor de confiabilidad deseado	C_R	0,81	Mott, 2006. Tabla 5-1, página 175
Factor de tamaño para sección circular	C_s	0,90	Mott, 2006. Figura 5-9, página 175

Nota: la resistencia a la fatiga modificada S_n se obtiene de la curva para la condición maquinado o estirado en frío vs resistencia a la tensión de 470 MPa.

Para el factor de tamaño de sección circular se asume un $D=25\text{mm}$

Luego evaluando la ecuación de Resistencia a la fatiga real estimada se tiene:

$$S'n = S_n(C_m)(C_n)(C_R)(C_s)$$

$$S'n = 190(1,0)(1,0)(0,81)(0,90)$$

$$S'n = 138,51 \text{ MPa}$$

El diámetro para el eje en O2 entonces será:

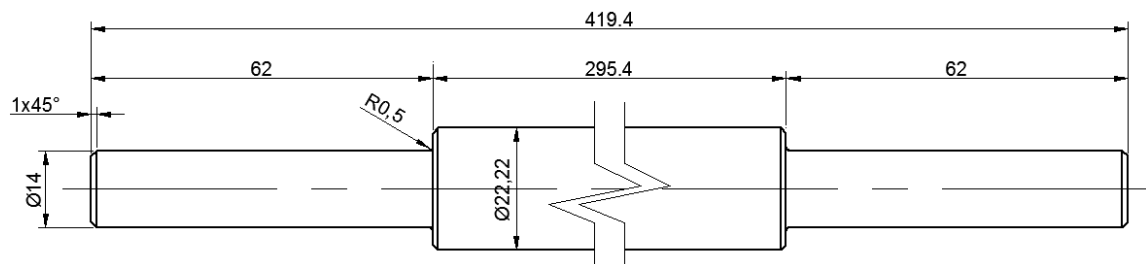
$$D = \sqrt{2,94K_TVN/S'n}$$

$$D = \sqrt{2,94 \times 2,5 \times 860,5 \times 2 / 138,51 \times 10^6}$$

$$D = 0,009\text{m}$$

Establecido el diámetro se presenta la geometría definitiva en la figura 3.17 considerando aspectos constructivos, estéticos y de montaje de rodamientos.

Figura 3.17 Eje en O2 geometría definitiva



Nota: Dimensiones en milímetros

3.6 Diseño de la estructura

Una vez diseñados los ejes y establecidas las fuerzas en cada miembro de la estructura en el subtítulo 3.3, se procede a analizar el estado de esfuerzos, deformaciones y factores de seguridad con la ayuda de SolidWorks Simulation. Se inicia con el chasis (R1 del mecanismo de cuatro barras), la biela (R2), el eslabón conector que soporta los pedales (R3) y finalmente el eslabón de brazo (R4).

3.6.1 Chasis

Es la parte de la estructura que se encuentra anclada al suelo y recibe las cargas P transmitidas por los ejes O1 y O2, estimadas en 860,5 N en el numeral 3.3; se encuentra fabricada en tubería rectangular y cuadrada tal como se muestra en la figura 3.18.

Figura 3.18 Fuerzas en el chasis

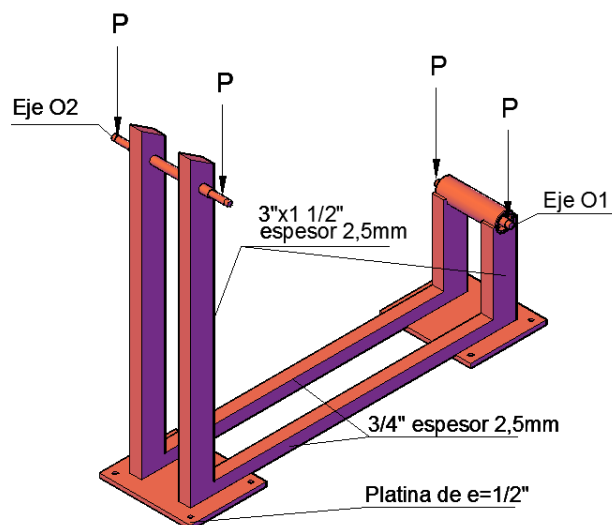
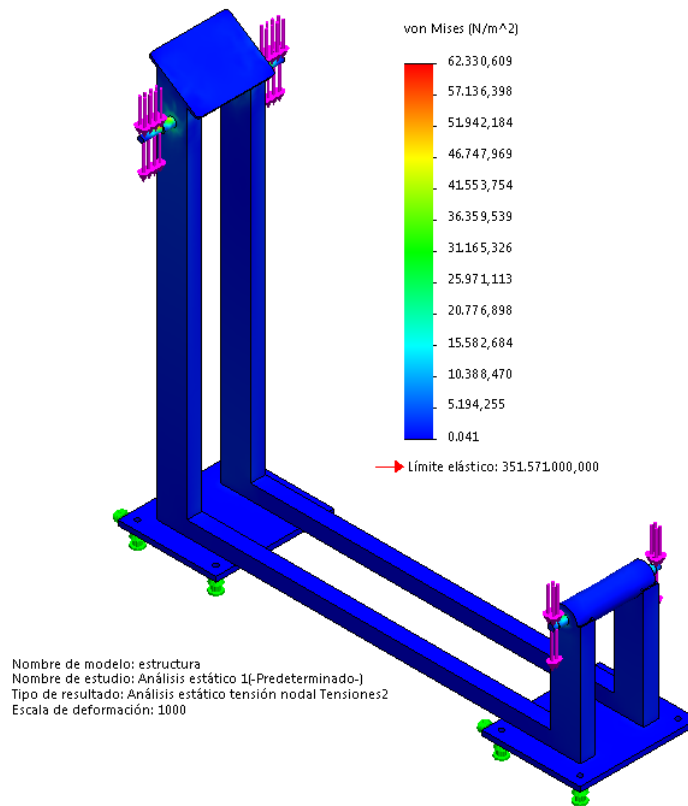


Figura 3.19 Estado de esfuerzos en el chasis

Considerando las propiedades mecánicas de un acero AISI 1020, geometría fija por las platinas de anclaje al suelo, se tiene como resultado un esfuerzo máximo según la teoría de esfuerzos de von Misses de 62,3 KPa. En las figuras 3.20 y 3.21 se presentan los resultados para deformación con un valor máximo de 0,16 milímetros y un factor de seguridad mínimo de 5640.

Figura 3.20 Desplazamiento estático del chasis

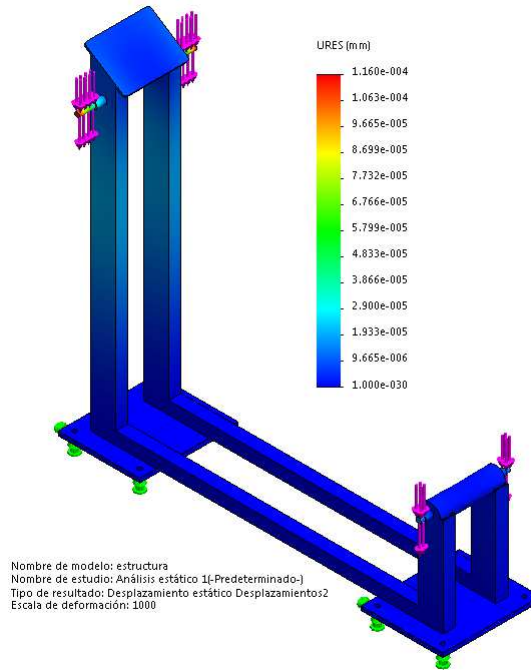
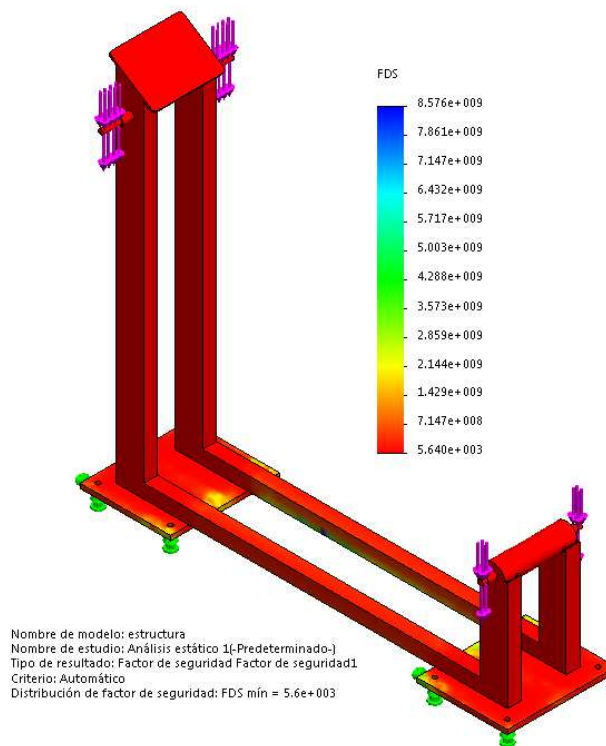


Figura 3.21 Factor de seguridad en el chasis



3.6.2 Biela

Es el elemento conector entre el eje O1 y el pasador A, cuya fuerza P se estimó en 860,5 N y que se elaborara en chapa metálica de 1/2" de espesor. En las figuras 3.22 a 3.25 se presentan los resultados del análisis por elementos finitos.

Figura 3.22 Fuerza en la biela (eslabón R2)

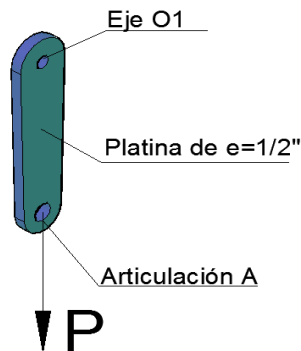
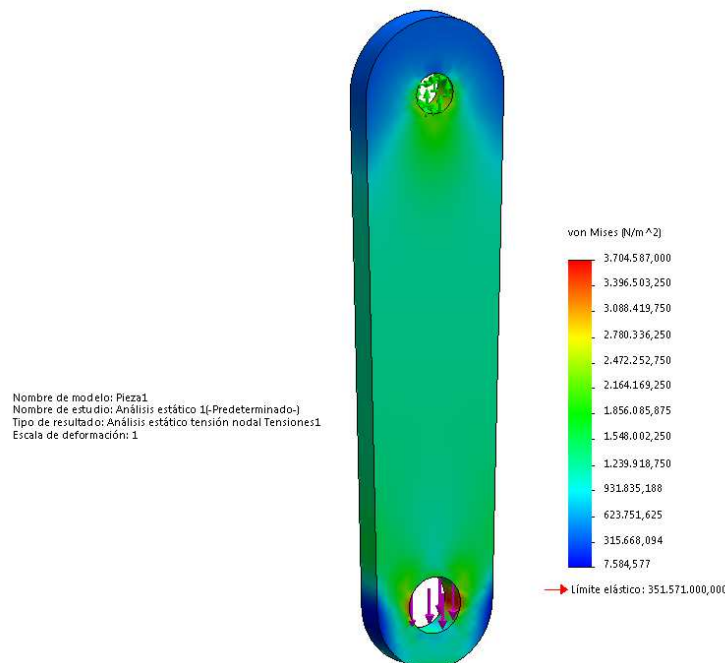


Figura 3.23 Estado de esfuerzos en la biela



Considerando las propiedades mecánicas de un acero AISI 1020, geometría fija en O1, se tiene como resultado un esfuerzo máximo según la teoría de esfuerzos de von Mises de 3,7 MPa.

Figura 3.24 Desplazamiento estático en la biela

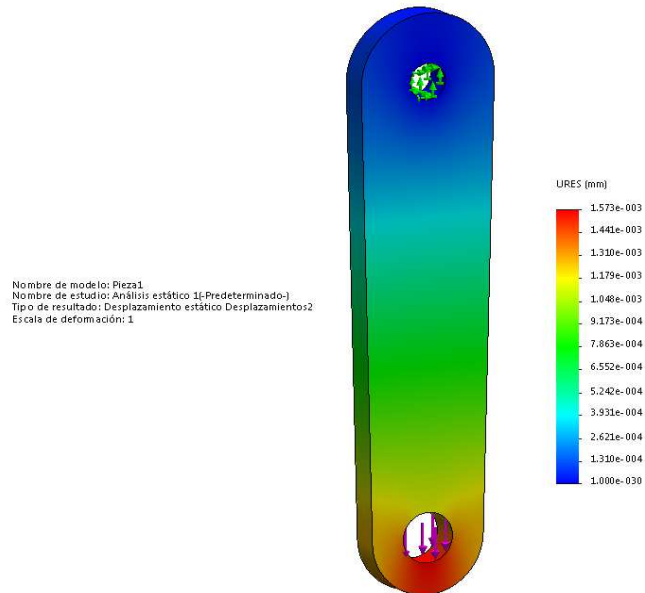
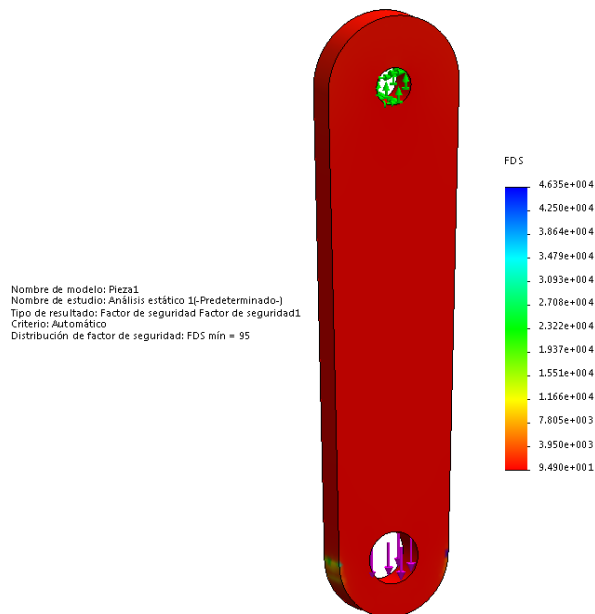


Figura 3.25 Factor de seguridad en la biela



El desplazamiento máximo que se presenta en el extremo de la biela es de 0,0015 milímetros, mientras el factor de seguridad mínimo es de 95.

3.6.3 Pedales

Es el eslabón conector R3 del mecanismo de cuatro barras, sobre él se ubica el pedal que transfiere toda la carga del usuario a través de las articulaciones A y B, construido en tubería cuadrada de 1 1/2" de espesor 2,5 milímetros y pedal en lámina antideslizante con un rodapiés perimetral, tal como se muestra en la figura 3.26.

Figura 3.26 Fuerza en el Pedal

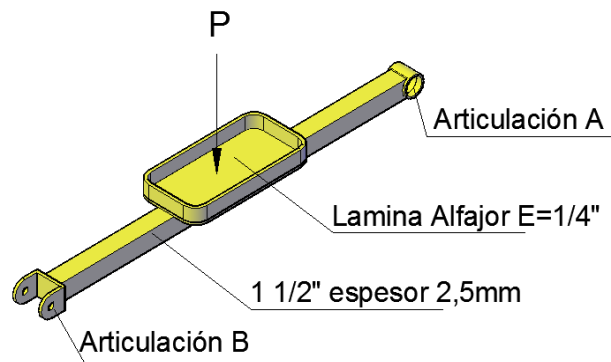
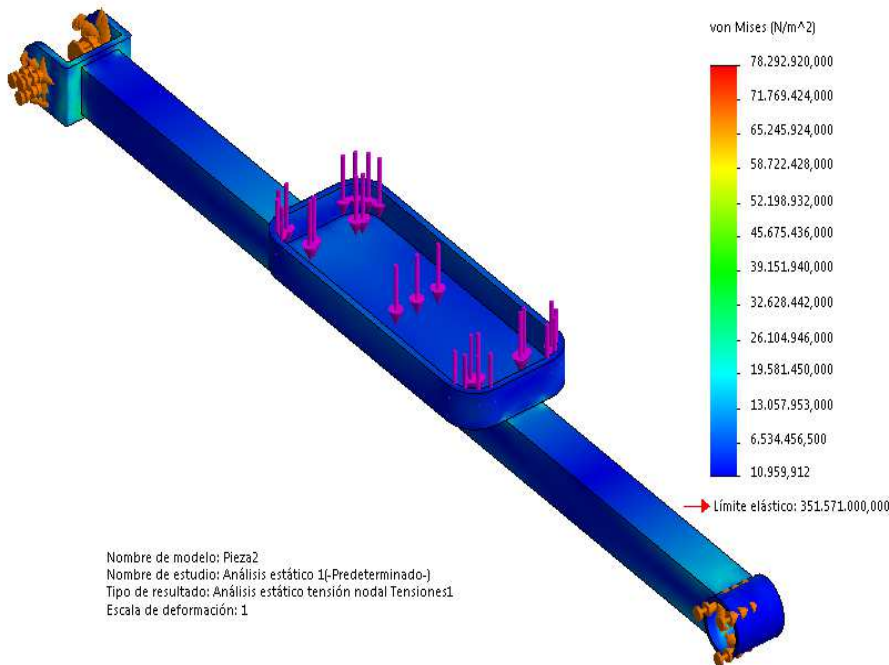


Figura 3.27 Estado de esfuerzos en el pedal (eslabón R3)



Se puede observar en la figura 3.27 el análisis de esfuerzos estático bajo carga dinámica de 1721 N, donde el esfuerzo máximo corresponde a 78,29 MPa. En las figuras 3.28 y 3.29

se presentan los resultados del estado de deformación máximo (0,14 mm) así como el factor de seguridad mínimo (4,5).

Figura 3.28 Estado de deformación en eslabón R3

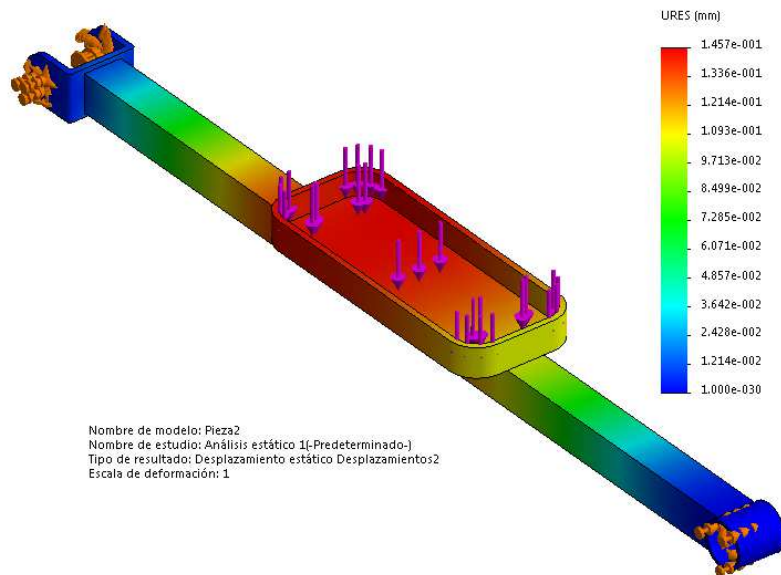
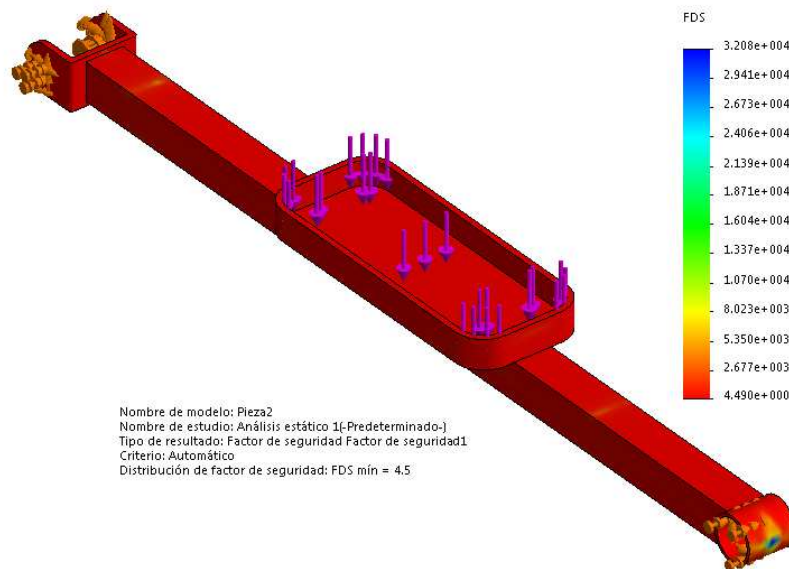


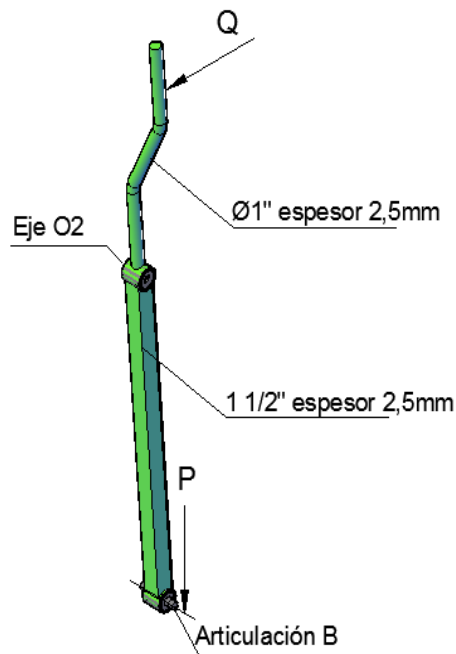
Figura 3.29 Factor de seguridad en eslabón R3



3.6.4 Eslabón de brazo

Es el eslabón de salida del mecanismo de cuatro barras R4, está constituido por una parte tubular cuadrada entre la articulación B y el eje O2, seguida de una sección que se extiende en tubería circular para agarre anatómico y ergonómico del usuario con un diámetro de 1". La carga P calculada en el subtítulo 3.3 corresponde a 860,5 N, mientras la fuerza horizontal Q puede ser para empujar o para jalar (11,8 y 12,7 kg en promedio respectivamente) (Delgado Henríquez, 2004) se asumirá de 120 N.

Figura 3.30 Fuerzas en eslabón de brazo R4



En las figuras 3.31 a 3.33 se presentan los resultados para el análisis estático debido a las fuerzas estudiadas en el subtítulo 3.3; inicialmente en la figura 3.31 se aprecia que el esfuerzo máximo en esta parte de la estructura corresponde a 67,8 MPa, mientras que la deformación máxima es de 0,003 metros, por otra parte el factor de seguridad mínimo es de 5.18.

Figura 3.31 Estado tensional de esfuerzos en eslabón de brazo

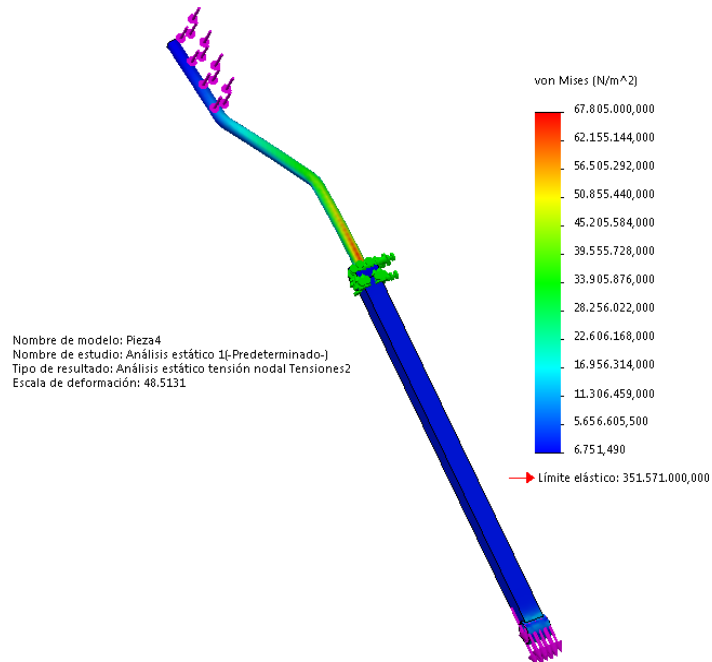


Figura 3.32 Máximo desplazamiento en eslabón de brazo

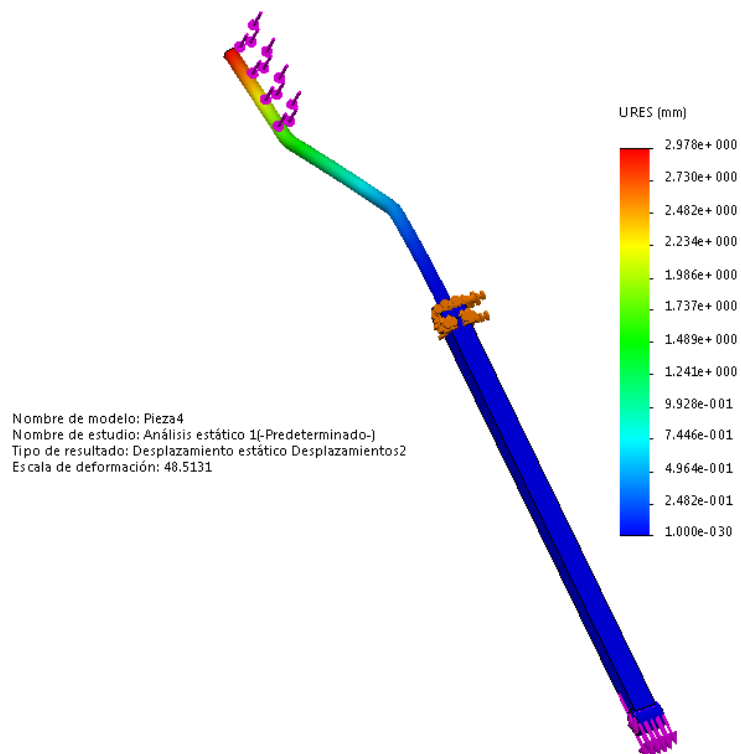
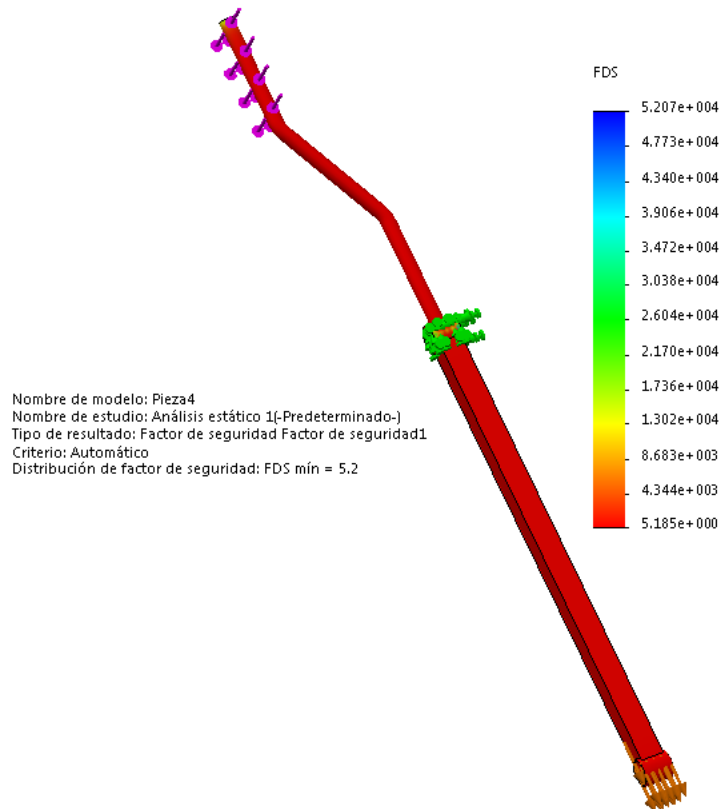


Figura 3.33 Factor de seguridad en eslabón de brazo

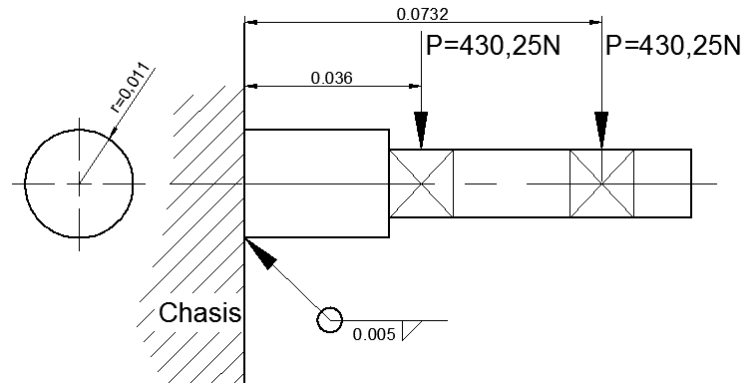
3.6.5 Uniones soldadas

La estructura está formada por tubulares de diferentes especificaciones en acero estructural unido mediante soldadura MIG ER70 con uniones a tope y en T con cordones en filete. De los subcapítulos anteriores se observa que los puntos críticos se encuentran en el chasis en la unión con el eje O2 y en el eslabón R3 (pedal) en la unión del elemento tubular con la platina de la articulación en B. En ambos casos los esfuerzos son debidos a flexión, donde el esfuerzo normal medio está dado por la ecuación (Shigley & Mischke, 2008)

$$\tau = \sigma = \frac{Mc}{I}$$

Para el primer caso (eje O2 al chasis, figura 2.34) tenemos:

Figura 3.34 Eje O2 a chasis cordón de soldadura



Donde:

$M=47.06 \text{ Nm}$: momento en la unión soldada entre el eje y el chasis

$h=0.005\text{m}$: altura de la garganta

$r=c=0.011\text{m}$: radio del cordón de soldadura

$A= 2.44 \times 10^{-4}\text{m}^2$: área de la garganta. $A=1.414\pi hr$ (Shigley & Mischke, 2008, pág. 470)

$I_u=4.18 \times 10^{-6}\text{m}^3$: segundo momento unitario de área. $I_u=\pi r^3$ (Shigley & Mischke, 2008, pág. 470)

$I=1.47 \times 10^{-8}\text{m}^4$: segundo momento de área. $I=0,707hI_u$ (Shigley & Mischke, 2008, pág. 469)

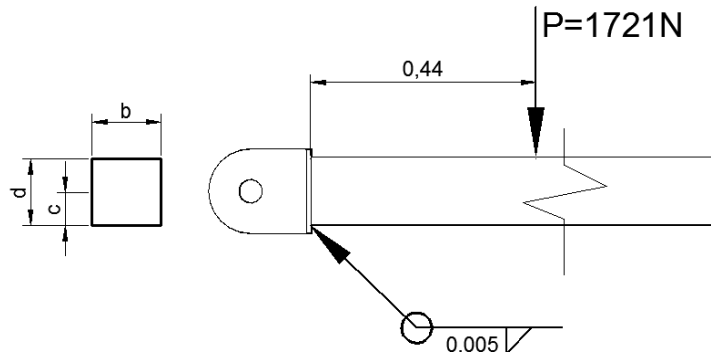
$$\sigma = \frac{47,06 \times 0,011}{1.47 \times 10^{-8}} = 35,2 \text{ kPa}$$

De acuerdo al fabricante, la resistencia última del metal soldante para el alambre especificado es de $S_u = 482,6 \text{ MPa}$ y una resistencia de fluencia de $S_y = 344,7 \text{ MPa}$. El esfuerzo permitido por el reglamento AISC (America Institute of Steel Construction) de acuerdo a Shigley, 2008 para una carga a flexión a tope es de $0,6S_y$, es decir 206.82 MPa . Lo que quiere decir que el factor de seguridad para la junta soldada es:

$$n = \frac{S_y}{\sigma}$$

$$n = \frac{206.82}{0,0352} = 5875$$

Para el segundo caso (eslabón R3 en la unión del elemento tubular con la platina de la articulación en B, figura 2.35) tenemos:

Figura 3.35 Cordón de soldadura eslabón R3 a platina articulación B

Donde:

$M=757,24$ Nm: momento en la unión soldada entre el tubo cuadrado y la platina

$h=0.005$ m: altura de la garganta

$c=0.011$ m: altura al centroide del cordón

$d=b=0,04$ m: alto y ancho del cordón

$A= 1,13 \times 10^{-5}$ m²: área de la garganta. $A=1.414h (b+d)$ (Shigley & Mischke, 2008, pág. 470)

$I_u=4.26 \times 10^{-5}$ m³: segundo momento unitario de área. $I_u= d^2 (3b+d)/6$ (Shigley & Mischke, 2008, pág. 470)

$I=1.50 \times 10^{-7}$ m⁴: segundo momento de área. $I=0,707hI_u$ (Shigley & Mischke, 2008, pág. 469)

$$\sigma = \frac{757,24 \times 0,011}{1.47 \times 10^{-8}} = 55,53 \text{ MPa}$$

De acuerdo al fabricante, la resistencia última del metal soldante para el alambre especificado es de $S_u = 482,6$ MPa y una resistencia de fluencia de $S_y = 344,7$ MPa. El esfuerzo permitido por el reglamento AISC (America Institute of Steel Construction) de acuerdo a Shigley, 2008 para una carga a flexión a tope es de $0,6S_y$, es decir 206.82 MPa. Lo que quiere decir que el factor de seguridad para la junta soldada es:

$$n = \frac{S_y}{\sigma}$$

$$n = \frac{206.82}{55,53} = 3,72$$

Se puede concluir que las uniones soldadas en la estructura de la maquina elíptica son seguras para las sollicitaciones de esfuerzo a la que será sometida durante su empleo.

3.7 Selección de elementos rodantes

En este apartado se dará selección a los elementos rodantes que serán localizados tanto en los ejes, como en las articulaciones del mecanismo de cuatro barras con el objetivo de disminuir la resistencia que por fricción se pudiere presentar durante el funcionamiento de las diferentes partes móviles de la maquina elíptica.

Para el eje O1 se presentan las siguientes condiciones de selección:

D= 20 mm: diámetro del eje

F_R= 860,5 N: fuerza radial (0,86 KN)

V= 100 rpm: velocidad de giro

L₁₀= 90 x10⁶ revoluciones: Duración nominal (parámetro del fabricante)

Se estima la capacidad de carga dinámica C mediante la siguiente ecuación (Shigley & Mischke, 2008, pág. 554), donde f_a= 1,2 para maquinas sin impactos (factor de aplicación de carga), a= 3 para cojinete de bolas:

$$C = f_a F_R L_{10}^{1/a}$$

$$C = 1,2 \times 0,86 \times 90^{1/3} = 4,62 \text{ KN}$$

Ahora en catálogo comercial para las condiciones geométricas y de carga nominal se selecciona un rodamiento de bolas SKF 6204 cuya capacidad de carga es de 13,5 KN.

Figura 3.36 Catálogo de productos SKF rodamientos de bolas para eje O1

Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Velocidades nominales		Designaciones	
d [mm]	D [mm]	B [mm]	dynamic	static	Reference speed	Limiting speed	Bearing	Snap ring
d [mm]	D [mm]	B [mm]	C [kN]	C ₀ [kN]	[r/min]	[r/min]		
20	47	14	13.5	6.55	32 000	17 000	☆ ■ 6204-2RSL	
20	47	14	13.5	6.55	32 000	17 000	☆ ■ 6204-2Z	
20	47	14	13.5	6.55	32 000	17 000	■ 6204-2ZNR	SP 47
20	47	14	13.5	6.55	32 000	20 000	☆ ■ 6204	
20	47	14	13.5	6.55	32 000	20 000	■ 6204 N	

Nota: Adaptado de SKF.com. Rodamientos rígidos de bolas.

(<https://www.skf.com/co/products/rolling-bearings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings#cid-493604>)

Para el eje O2 y las articulaciones en A y B del mecanismo se presentan las siguientes condiciones de selección:

D= 15 mm: diámetro del eje

$F_R = 860,5$ N: fuerza radial (0,86 KN)

V= 100 rpm: velocidad de giro

$L_{10} = 90 \times 10^6$ revoluciones: Duración nominal (parámetro del fabricante)

Se estima la capacidad de carga dinámica C mediante la siguiente ecuación (Shigley & Mischke, 2008, pág. 554), donde $f_a = 1,2$ para maquinas sin impactos (factor de aplicación de carga), $a = 3$ para cojinete de bolas:

$$C = f_a F_R L_{10}^{1/a}$$

$$C = 1,2 \times 0,86 \times 90^{1/3} = 4,62 \text{ KN}$$

Ahora en catálogo comercial para las condiciones geométricas y de carga nominal se selecciona un rodamiento de bolas SKF 6302 cuya capacidad de carga es de 11,9 KN (ver figura 3.37). Para ambos casos la capacidad de carga y las velocidades nominales están por encima de las solicitadas en el mecanismo.

Figura 3.37 Catálogo de productos SKF rodamientos de bolas para eje O2 y articulaciones A y B

Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Velocidades nominales		Designaciones	
			dynamic	static	Reference speed	Limiting speed	Bearing	Snap ring
d [mm]	D [mm]	B [mm]	C [kN]	C ₀ [kN]	[r/min]	[r/min]		
15	42	13	11.9	5.4	38 000	19 000	☆ ■ 6302-2R5L	
15	42	13	11.9	5.4	38 000	19 000	☆ ■ 6302-2Z	
15	42	13	11.9	5.4	38 000	24 000	☆ ■ 6302	
15	42	13	11.9	5.4	38 000	24 000	■ 6302-Z	
15	42	13	11.9	5.4		12 000	☆ ■ 6302-2R5H	

Nota: Adaptado de SKF.com. Rodamientos rígidos de bolas.

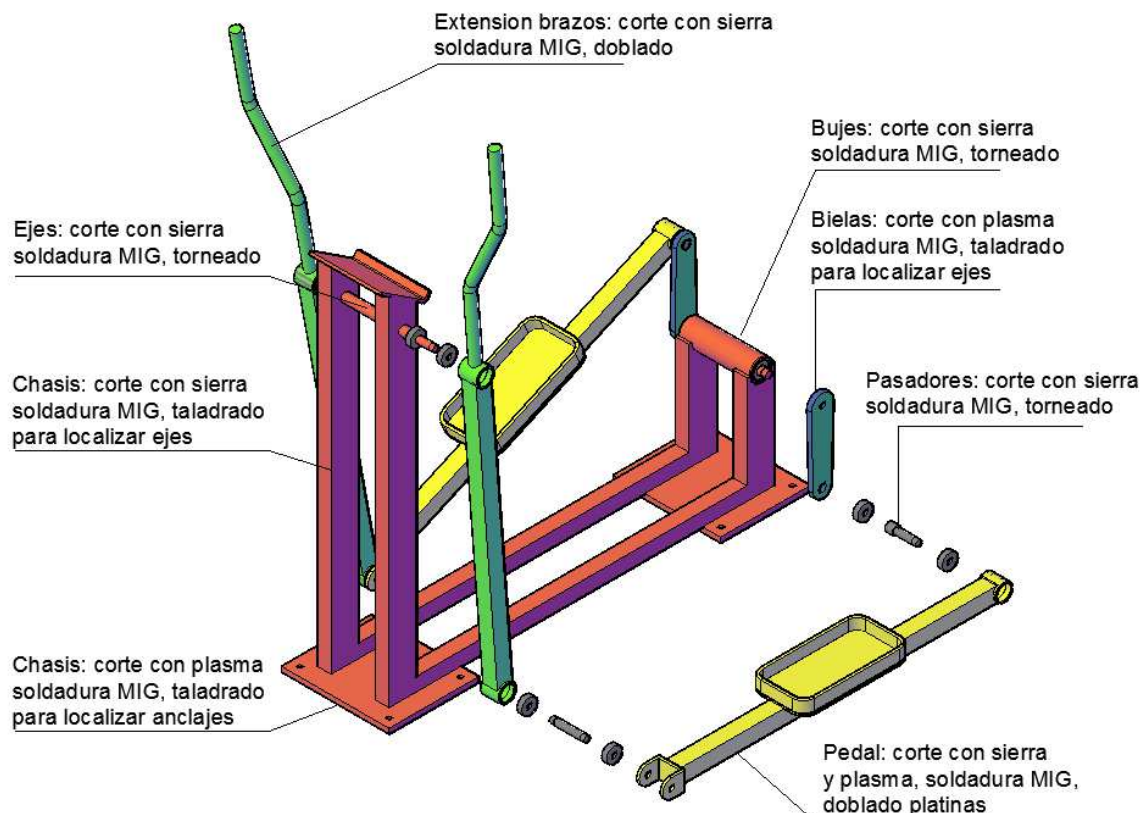
(<https://www.skf.com/co/products/rolling-bearings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings#cid-493604>)

En el anexo 2 se presentan las especificaciones técnicas de ambos tipos de rodamientos.

4. Fabricación y mantenimiento

Se presentan en este apartado los diferentes procesos de fabricación utilizados para la construcción de la maquina elíptica mediante una corta descripción de cada uno con la respectiva evidencia fotográfica. Los planos utilizados para tal objetivo se presentan al final de este documento en el Anexo 3. La figura 4.1 presenta un diagrama explosionado con una breve descripción del proceso empleado en cada uno de sus componentes.

Figura 4.1 *Proceso de fabricación elíptica*



4.1 Corte de metal

De carácter general, el corte de metal es uno de los procesos iniciales en la fabricación de cualquier dispositivo mecánico o estructural, se hace limpieza general de las superficies para liberar de impurezas como grasas y polvo. Como la elíptica esta conformada por tubería de diferentes perfiles, así como barras de acero se emplea una sierra de disco

(tronzadora) abrasivo de diámetro 14" a velocidad de penetración moderada para evitar zonas con cambios de propiedades mecánicas por aumento de temperatura. Para piezas como la biela y el pedal se utiliza el corte con plasma mediante pantógrafo. Las fotografías presentadas en las figuras 4.2 a 4.4 muestran los procesos de corte en diferentes piezas.

Figura 4.2 Corte con tronzadora de tubería para el chasis



Figura 4.3 Corte con plasma en pantógrafo de la biela

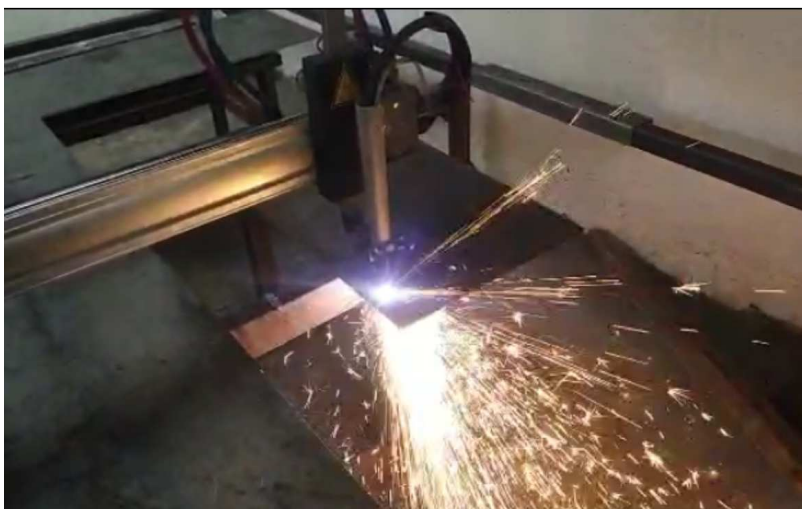


Figura 4.4 *Diferentes piezas dispuestas después del corte de metal*



4.2 Torneado

Los ejes localizados en los puntos O1 y O2, así como los pasadores en A y B del mecanismo de cuatro barras que forman la máquina elíptica deben ser mecanizados en un torno paralelo para alcanzar las dimensiones diseñadas. El material empleado es un acero AISI 1020 el cual es cortado en la tronzadora con una longitud mayor a la final para procesos de refrentado y biselado de los extremos, posteriormente se cilindra hasta conseguir los diámetros indicados en planos. De igual manera los bujes de los pasadores en A y B son mecanizados en el torno para obtener el diámetro de alojamiento de los rodamientos.

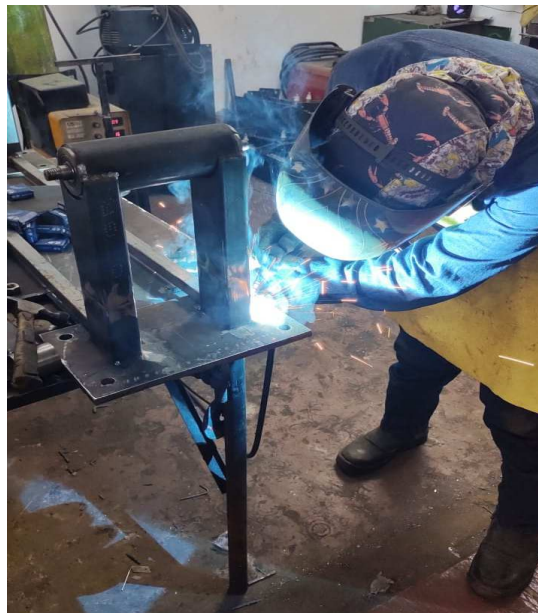
Figura 4.5 *Proceso de torneado de bujes*



4.3 Soldadura

Dispuestas todas las piezas a las longitudes, formas y dimensiones diseñadas, se inicia con el proceso de unión mediante soldadura MIG ER70. Después de un proceso de limpieza, las piezas se aseguran mediante pinzas y prensas de banco para ser soldadas con cordón en filete en los lugares y forma indicados en los planos de fabricación. Una vez terminado todo el proceso de soldadura y ensamblaje se realiza ensayo no destructivo según la norma SNT1A-2011 de la ASNT para verificar la integridad de las uniones, el informe de la inspección mediante tintas penetrantes se presenta en el Anexo 4.

Figura 4.6 *Proceso de soldadura MIG ER70 en la elíptica.*



4.4 Ensamble y acabado

Realizado el ensayo no destructivo mediante tintas penetrantes (anexo 4) el cual arroja como resultado uniones aceptables y cordones con regularidad en la presentación, se hace limpieza general de todas las superficies de la máquina elíptica, a lo cual sigue una primera aplicación con pintura anticorrosiva teniendo en cuenta que el mecanismo es para empleo al aire libre. Una vez seca esta base se aplica el acabado a color con pintura tipo laca sintética, verificación de acabados, ensamblaje de mangos de caucho, ajustes y aprietes de uniones roscadas.

4.5 Mantenimiento

En este subcapítulo se presentan las recomendaciones de mantenimiento para la máquina biosaludable elíptica. Se hace necesario realizar con regularidad inspecciones para garantizar la disponibilidad de la máquina, en general se trata de procedimientos simples que se pueden realizar a los otros equipos del circuito biosaludable UAN.

Se recomienda inspección periódica cada 6 meses y actividades de mantenimiento preventivo anualmente. En la tabla 4.1 y 4.2 se presenta una rutina de mantenimiento de inspección para cada 6 meses y cada año.

Cuando en la inspección se encuentren piezas desgastadas o en mal estado se recomienda el cambio por una de repuesto o en su defecto si el daño es grande y afecta la integridad estructural de la máquina, reemplazar la máquina.

Tabla 4.1 *Mantenimiento preventivo cada 6 meses*

UAN		TIPO DE MANTENIMIENTO: PREVENTIVO	FRECUENCIA ACTIVIDAD: SEMESTRAL	FECHA:
EQUIPO A MANTENER: Maquina Elíptica				
HERRAMIENTAS: Papel tipo lija, bayetilla, pintura tipo laca y anticorrosiva, brocha, herramientas de mano, equipo de seguridad.				
MATERIALES: Pintura tipo laca, disolvente, grasera				
DESCRIPCION:		ACTIVIDAD:		
Inspección visual: presencia de superficies corroídas, ralladuras y golpes		Limpiar las superficies con bayetilla, lijar con lija N°200, pulir con lija N° 600, limpieza con disolvente, aplicar pintura anticorrosiva, terminado con pintura tipo laca.		
Presencia de ruidos metal-metal ante pivotado y rotación de componentes.		Desmonte, limpieza con trapo bayetilla, lijado con lija N° 600, limpieza con disolvente, lubricar con grasera, re-ensamblar.		
Inspección visual: presencia de desprendimientos, grietas o roturas de las partes metálicas.		Soldar in situ, o desmontar las piezas, limpiar con bayetilla y lija, soldar con MIG ER70, pulir cordón de soldadura, limpieza con disolvente, aplicar anticorrosivo y pintura tipo laca. Ensamblar.		
NOTAS:				

Tabla 4.2 *Mantenimiento anualizado*

UAN	TIPO DE MANTENIMIENTO: PREVENTIVO	FRECUENCIA ACTIVIDAD: ANUAL	FECHA:
EQUIPO A MANTENER: Maquina Elíptica			
HERRAMIENTAS: Papel tipo lija, bayetilla, pintura tipo laca y anticorrosiva, brocha, herramientas de mano, equipo de seguridad.			
MATERIALES: Pintura tipo laca, disolvente, graser			
DESCRIPCION:		ACTIVIDAD:	
Restauración de superficies		Limpiar las superficies con bayetilla, lijar con lija N°200, pulir con lija N° 600, limpieza con disolvente, aplicar pintura anticorrosiva, terminado con pintura tipo laca.	
Lubricación y ajustes		Desmonte, limpieza con trapo bayetilla, lijado con lija N° 600, limpieza con disolvente, lubricar con graser, re-ensamblar.	
Soldadura y cambio de piezas		Soldar in situ, o desmontar las piezas, limpiar con bayetilla y lija, soldar con MIG ER70, pulir cordón de soldadura, limpieza con disolvente, aplicar anticorrosivo y pintura tipo laca. Ensamblar.	
NOTAS			

Como parte complementaria al mantenimiento se deben limpiar las zonas verdes aledañas a las maquinas biosaludables, recogida de ramas y hojas. Ubicar canecas para recolección de basuras. También se recomienda como medida de bioseguridad limpieza diaria de la superficie en contacto con la piel (manubrio).

Para manejo e historial de actividades de mantenimiento se presenta la tabla 4.3 que contiene un formato con la orden de trabajo para ser entregada al operario para que este efectúe la labor de mantenimiento.

Tabla 4.3 Orden de trabajo

UAN		ORDEN DE TRABAJO	
TIPO DE MANTENIMIENTO A REALIZAR		PREVENTIVO:	CORRECTIVO:
NOMBRE OPERARIO:			
FECHA DE EJECUCIÓN:			
INDIQUE LAS LABORES REALIZADAS:			
REVISADO:			FECHA:

5. Resultados

Una vez cumplidos los pasos de diseño y fabricación se realizan pruebas de funcionalidad para garantizar la confiabilidad de la maquina elíptica en lo referente a temas ergonómicos, antropométricos y estructurales, es así como se prueba con dos personas, una de talla pequeña (un niño de 7 años, aproximadamente 1,2 m de estura) y un adulto de talla alta (aproximadamente 1.8 m de estatura). En la figuras 5.1 y 5.2, se observan a las personas durante la prueba la cual se desarrolló durante 10 minutos por persona para verificar funcionalidad, resistencia estructural y ergonomía. En ambos casos se conserva una posición erguida y sin requerir sobreesfuerzos para la funcionalidad del equipo. Desde el punto de vista estructural no se observaron ruidos ni deformaciones plásticas en los materiales.

Figura 5.1 Prueba de la maquina elíptica con niño.



Figura 5.2 Prueba de la maquina elíptica con adulto.



Durante la etapa de diseño se comprobó el funcionamiento cinemático en el software Working Model.

5.1 Características

La máquina diseñada presenta una serie de características de funcionalidad, seguridad y físicas que se presentan en la tabla 5.1. Se matan todas las aristas vivas y filos de los elementos metálicos. Se debe instalar sobre una placa de concreto nivelada y con un área circular de diámetro mínimo 2,0 m.

Tabla 5.1 *Características de la maquina elíptica*

ESPECIFICACIONES DE FUNCIONALIDAD	
Carga máxima de usuario	87,7 kg
Vida útil	10 años
ESPECIFICACIONES DE SEGURIDAD	
Factor de seguridad	Mínimo 2 (en los ejes)
Edad mínima usuario	7 años
Elevación máxima del usuario sobre el piso	343 mm
Apoyo para los pies	Alfajor y rodapiés
Material manubrio	Goma antiestática
ESPECIFICACIONES FISICAS	
Peso total	115 kg
Altura máxima	1530 mm
Anclajes	Chasos galvanizados en 8 puntos sobre base en concreto
Materiales	Acero estructural y AISI 1020

5.2 Costos

Terminado el proceso de fabricación, ensayo de tintas penetrantes en las uniones soldadas y todo lo referente al ensamblaje de la maquina elíptica se presenta el costo por unidad. Los valores se presentan en la tabla 5.2. Se debe considerar que la estructura construida corresponde a un prototipo y por tal motivo el costo final puede estar a un nivel similar o por encima de las maquinas comerciales, las cuales al producirse en cantidad, disminuye

su costo. Los equipos comerciales varían en costo desde los cinco millones de pesos (\$5.000.000) hasta uno punto dos millones (\$1.200.000) también con variantes en diseño y forma de instalación. El costo total de la elíptica fue de \$1.376.600

Tabla 5.2 Costo total de maquina elíptica por unidad

ítem	Descripción	Recursos estudiantes			
		cantidad	unidad	valor unitario	valor total (IVA incluido)
1	tubo de 1-1/2" x 1000	2	mm	\$ 32.000,00	\$ 64.000,00
2	tubo de 1-1/4 x 1300	2	mm	\$ 23.000,00	\$ 46.000,00
3	platina de 1/8 x 150 x 200 (apoyo celular)	1	mm	\$ 8.000,00	\$ 16.000,00
4	tubo de 3" x 1040	2	mm	\$ 52.000,00	\$ 104.000,00
5	tubo de 3" x 316	2	mm	\$ 21.000,00	\$ 42.000,00
6	tubo de 3/4 x 1023	2	mm	\$ 10.000,00	\$ 20.000,00
7	platinas apoyo pie 120x350 cal 1/8	2	mm	\$ 15.000,00	\$ 30.000,00
8	rodamientos	10	unidad	\$ 9.800,00	\$ 98.000,00
9	(pasadores)x 4"x 5/8" long aprox	8	unidad	\$ 4.200,00	\$ 33.600,00
10	soldadura 7018-3/32 x 5lb	1	unidad	\$ 42.000,00	\$ 42.000,00
11	pintura general (anticorrosivo y esmalte)	1	unidad	\$ 75.000,00	\$ 75.000,00
12	accesorios	2	unidad	\$ 28.000,00	\$ 56.000,00
13	mano de obra	1	unidad	\$ 700.000,00	\$ 700.000,00
14	Transportes de estudiantes	1	unidad	\$ 50.000,00	\$ 50.000,00
COSTO TOTAL MATERIALES Y MANO DE OBRA					\$1.376.600,00

6. Conclusiones y recomendaciones

6.1 Conclusiones

Al diseñar y construir una máquina elíptica para el circuito biosaludable de la UAN Ibagué se logró cumplir tanto con el objetivo principal, como con los objetivos específicos propuestos siguiendo una metodología investigativa, estableciendo un marco teórico y principalmente un proceso de ingeniería, consultando diferentes fuentes académicas y bibliográficas; se consultó aspectos tales como la ergonomía y la antropometría siendo indispensables en los diseños de equipos que tienen relación con el hombre y como estos se deben adaptar a él; se utilizaron modelos analíticos y computacionales para establecer el estudio cinemático del mecanismo, el estado de fuerzas, esfuerzos, deformaciones y factores de seguridad de la máquina.

Mediante el estudio cinemático se logró establecer que el mecanismo no presenta puntos muertos o agarrotamientos en ninguna de sus posiciones. Igualmente que este se comporta como un balancín de manivela, es decir, un eslabón rota completamente (biela R2), mientras otro oscila (barra de brazo R4), y el eslabón conector (pedal R3) describe un movimiento elíptico, tal como lo debe hacer la máquina biosaludable.

Del diseño de los ejes por métodos analíticos considerando diferentes factores se logró establecer los diámetros mínimos (2cm eje O1 y 0.9 cm eje O2), los cuales fueron ajustados por temas de fabricación y montaje (rodamientos). Con el empleo de elementos finitos en la estructura de la máquina elíptica se logró determinar que el factor de seguridad más bajo se presentó en el eslabón R3 (pedal con 4.5) con lo que se garantiza la confiabilidad estructural de la máquina y 3.72 en las uniones soldadas, las cuales fueron sometidas por un técnico certificado a prueba no destructiva por medio de líquidos penetrantes no fluorescente arrojando como resultado una calidad óptima de las uniones soldadas. El informe se presenta en el Anexo 4.

El costo total de la maquina fue de \$1.376.600 el cual es promedio entre los valores de los equipos comerciales disponibles en el mercado nacional, siendo posible disminuir su costo en caso de producción en cantidades mayores.

En el comercio se encuentran diferentes equipos para parques biosaludables con similares características y a precios comparables, sin embargo el objetivo fue diseñar y construir una máquina para la universidad en su sede de Ibagué con el valor agregado de establecer una metodología que puede ser replicada en otras sede nacionales.

Con la documentación plasmada en este trabajo de grado se establece una metodología para el diseño y construcción de otras máquinas biosaludables construidas de forma empírica o que se deseen construir para aumentar el número de equipos del circuito biosaludable de la universidad.

6.2 Recomendaciones

Seguir las rutinas de mantenimiento para garantizar la seguridad de los usuarios y la disponibilidad de los equipos por el tiempo para el que fue diseñado (10 años).

Ubicar en lugar visible las recomendaciones de uso de cada máquina que conforma el circuito biosaludable de la Universidad Antonio Nariño.

Establecer por el equipo de Bienestar Universitario de la sede actividades físicas en el circuito biosaludable involucrando a la comunidad universitaria con el objetivo de afianzar una cultura saludable en los miembros de la familia UAN.

Anexo 1: MANUAL DE INSTRUCCIONES MAQUINA ELIPTICA

INFORMACION DE SEGURIDAD

La máquina elíptica debe ser utilizada por niños mayores de 7 años, siempre bajo la supervisión de un adulto.

La elíptica se debe emplear por una sola persona a la vez

No utilice la maquina bajo condiciones de lluvia o humedad.

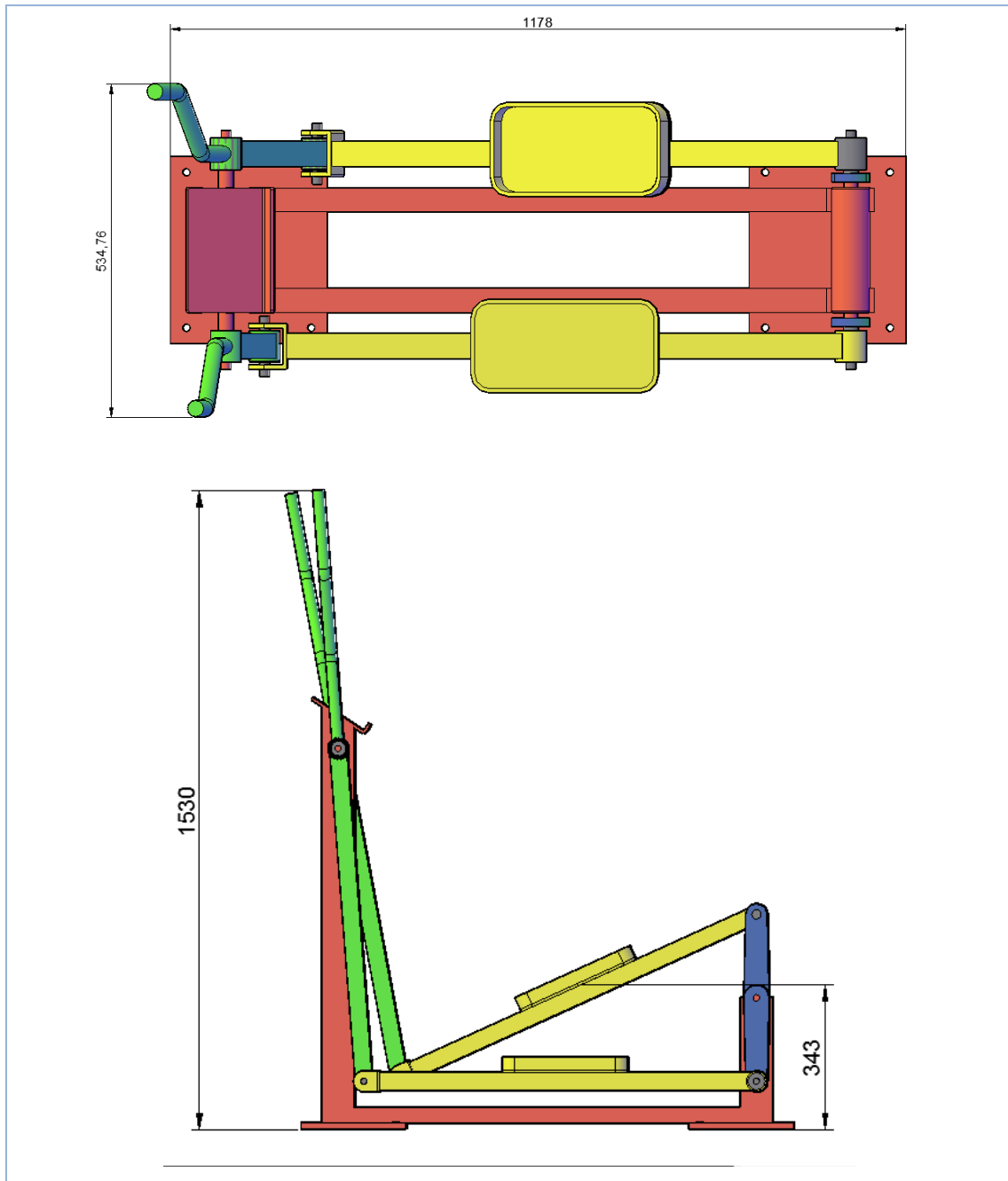
Como usar la maquina elíptica. Esta máquina pertenece al grupo de máquinas para coordinación de movimiento, para su empleo es necesario primero realizar un calentamiento en el timón, bicicleta estática o la maquina cintura o con rutinas de estiramiento de los grupos musculares superior e inferior. Se debe sujetar con las manos las barras de brazo antes de subir los pies sobre los pedales.

Rutina. Se debe iniciar con una frecuencia de rotación baja durante aproximadamente cinco minutos, después se aumenta dicha frecuencia a media durante unos veinte minutos más, finalmente se baja de nuevo la intensidad durante otros cinco minutos hasta finalizar el ejercicio (por cada 30 minutos de ejercicio a media intensidad se queman aproximadamente 300 calorías). Se recomienda no exceder el ritmo de pedaleo (rpm) en 75% de la frecuencia cardiaca máxima del usuario.

Restricciones y contraindicaciones. Considerando que se requiere de esfuerzo físico en los grupos musculares superior e inferior, se debe suspender la rutina en caso de sentir dolor en algún musculo. Si el usuario presenta algún tipo de lesión previa no se recomienda su uso. La posición del usuario debe ser erguida (espalda vertical) y no encorvarse durante la rutina ni de puntillas en los pies.

ESPECIFICACIONES

ESPECIFICACIONES DE FUNCIONALIDAD	
Carga máxima de usuario	87,7 kg
Vida útil	10 años
ESPECIFICACIONES DE SEGURIDAD	
Factor de seguridad	Mínimo 2 (en los ejes)
Edad mínima usuario	7 años
Elevación máxima del usuario sobre el piso	343 mm
Apoyo para los pies	Alfajor y rodapiés
Material manubrio	Goma antiestática
ESPECIFICACIONES FISICAS	
Peso total	115 kg
Altura máxima	1530 mm
Anclajes	Chasos galvanizados en 8 puntos sobre base en concreto
Materiales	Acero estructural y AISI 1020



Anexo 2: RODAMIENTOS RIGIDOS DE BOLAS



Generado desde {sitio} el {fecha}



6204 Rodamientos rígidos de bolas

Productos SKF
SKF España

Rodamientos rígidos de bolas

Datos de los rodamientos

Tolerancias,

Normal (métrica), F6, F5, Normal (en pulgadas).

Juego radial interno,

Pares de rodamientos apareados, Acero inoxidable $d < 10$ mm, Otros rodamientos

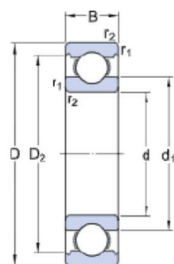
Interfaces del rodamiento

Tolerancias de los asientos

para condiciones estándares,

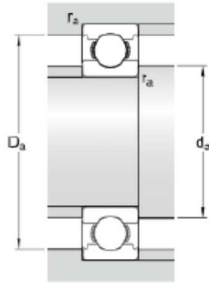
Tolerancias y ajustes resultantes

Especificación técnica



DIMENSIONES

d	20 mm
D	47 mm
B	14 mm
d ₁	≈ 28.8 mm
D ₂	≈ 40.59 mm
r _{1,2}	min. 1 mm



DIMENSIONES DE LOS RESALTES

d_a	min. 25.6 mm
D_a	max. 41.4 mm
r_a	max. 1 mm

DATOS DEL CÁLCULO

Capacidad de carga dinámica básica	C	13.5 kN
Capacidad de carga estática básica	C_0	6.55 kN
Carga límite de fatiga	P_L	0.28 kN
Velocidad de referencia		32 000 r/min
Velocidad límite		20 000 r/min
Factor de cálculo	k_f	0.025
Factor de cálculo	f_0	13

MASA

Rodamiento de masa	0.11 kg
--------------------	---------



6302 Rodamientos rígidos de bolas

Producción SKF

SKF España

Rodamientos rígidos de bolas

Datos de los rodamientos

[Tolerancias,](#)

Normal (métrica), P6, P5, Normal (en pulgadas),

[Juego radial interno,](#)

Pares de rodamientos apareados, Acero inoxidable $d < 10$ mm, Otros rodamientos

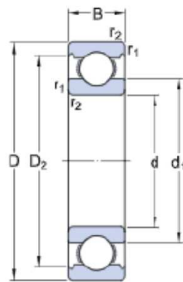
Interfaces del rodamiento

[Tolerancias de los asientos](#)

[para condiciones estándares,](#)

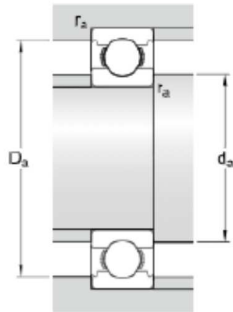
[Tolerancias y ajustes resultantes](#)

Especificación técnica



DIMENSIONES

d	15 mm
D	42 mm
B	13 mm
d ₁	≈ 23.7 mm
D ₂	≈ 36.23 mm
r _{1,2}	min. 1 mm



DIMENSIONES DE LOS RESALTES

d_a	min. 20.6 mm
D_a	max. 36.4 mm
r_a	max. 1 mm

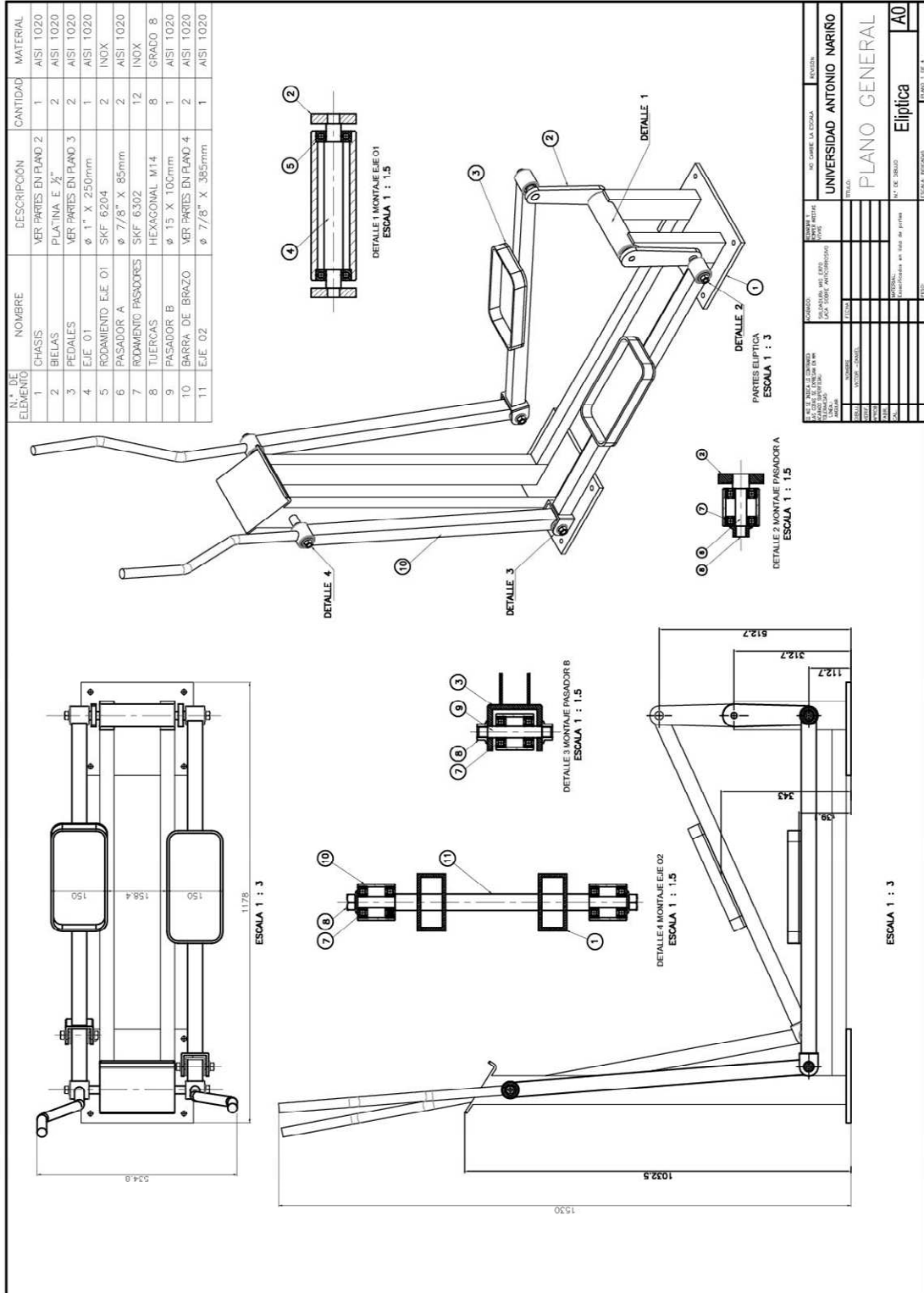
DATOS DEL CÁLCULO

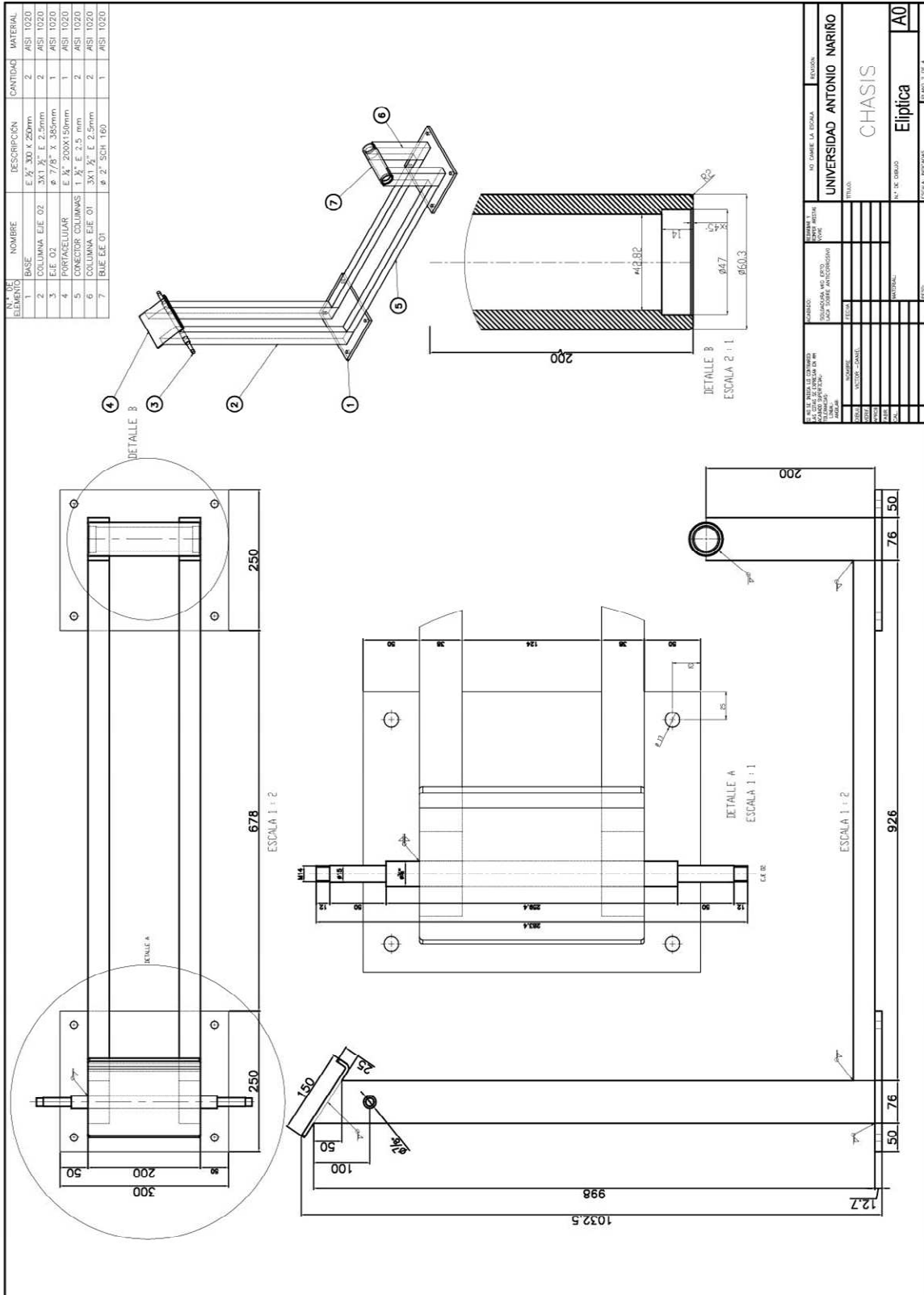
Capacidad de carga dinámica básica	C	11.9 kN
Capacidad de carga estática básica	C_0	5.4 kN
Carga límite de fatiga	P_L	0.228 kN
Velocidad de referencia		38 000 r/min
Velocidad límite		24 000 r/min
Factor de cálculo	k_T	0.03
Factor de cálculo	f_0	12

MASA

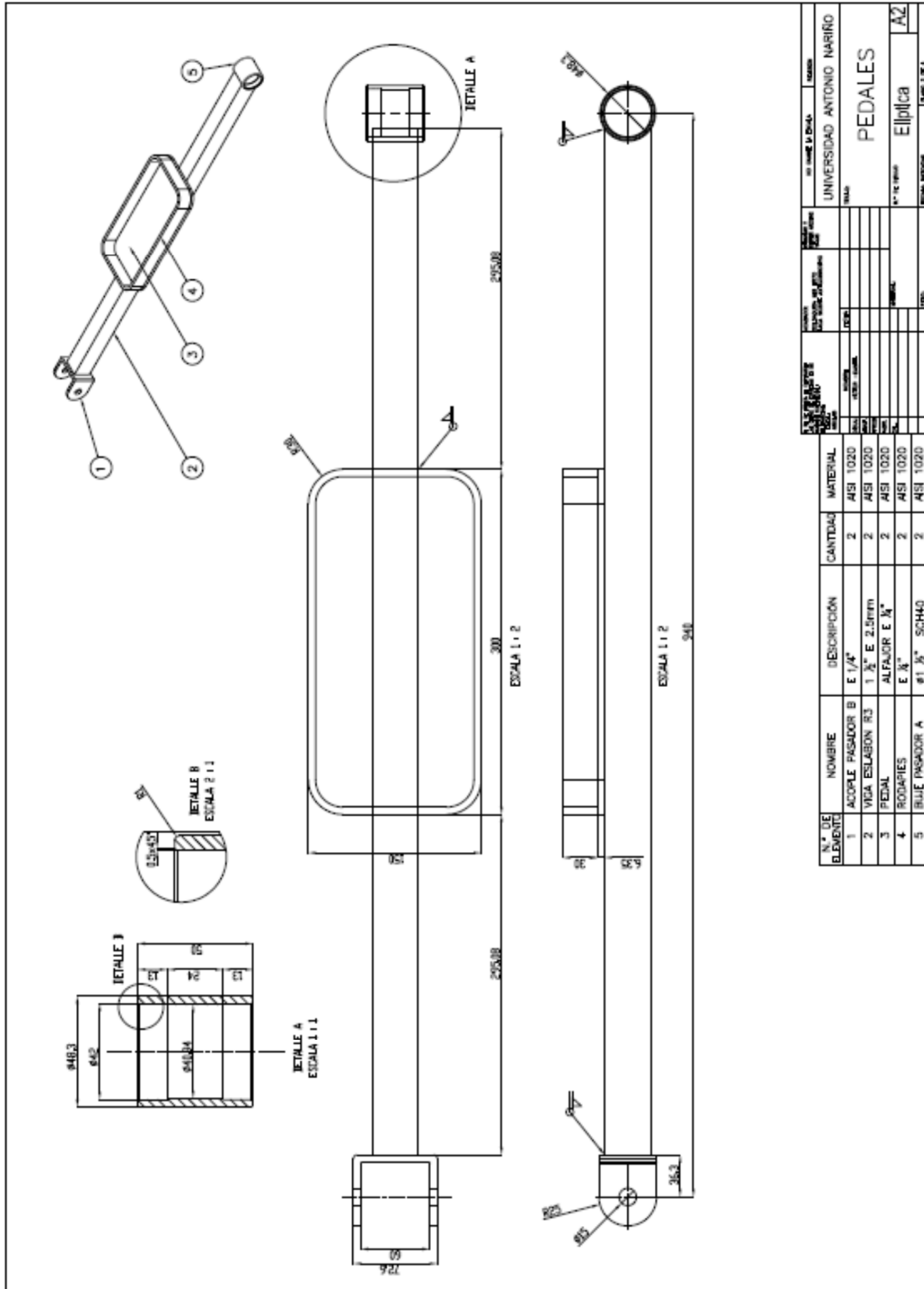
Rodamiento de masa		0.082 kg
--------------------	--	----------

Anexo 3: PLANOS

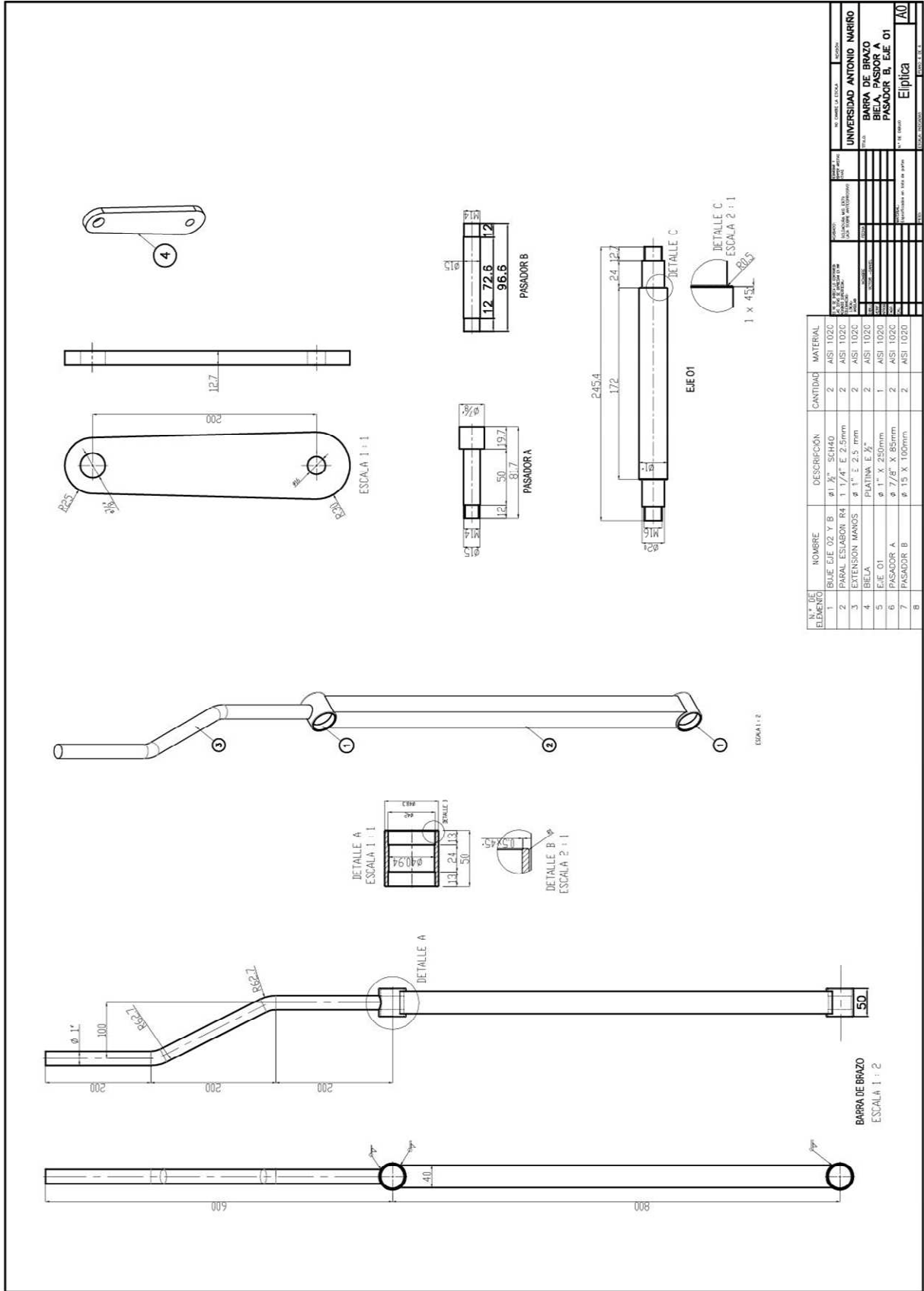




UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO		EXEQUIVA	
CHASIS		ELÍPTICA	
M. DE DIBUJO		M. DE DIBUJO	
Elíptica		Elíptica	
A0		A0	



UNIVERSIDAD ANTONIO NARRIO		UNIVERSIDAD ANTONIO NARRIO	
FACULTAD DE INGENIERIA		FACULTAD DE INGENIERIA	
ESCUELA DE INGENIERIA EN SISTEMAS DE INGENIERIA		ESCUELA DE INGENIERIA EN SISTEMAS DE INGENIERIA	
CARRERA DE INGENIERIA EN SISTEMAS DE INGENIERIA		CARRERA DE INGENIERIA EN SISTEMAS DE INGENIERIA	
MATERIA DE INGENIERIA EN SISTEMAS DE INGENIERIA		MATERIA DE INGENIERIA EN SISTEMAS DE INGENIERIA	
PEDALES			
		Elíptica	
		AZ	



Anexo 4: RESULTADO ENSAYO NO DESTRUCTIVO EN UNIONES SOLDADAS

INFORME DE ENSAYO NO DESTRUCTIVO SEGÚN NORMA SNT-TC-1A-2011
DE LA ASNT.

Abril 25 de 2021

EMPRESA ENCARGADA DE EJECUTAR LOS ENSAYOS: PROYECTO DE
GRADO

JUAN DANIEL BARRETO LOZANO Y VICTOR ANDEREY CORTEZ BERNAL

EMPRESA CLIENTE: UNIVERSIDAD ANTINIO NARIÑO SEDE BAGUE

EMPRESA O INSPECTOR QUE REALIZA LOS ENSAYOS:

ROBERT POVEDA TOBAR

INGENIERO MECANICO, INSPECTOR NIVEL II PT Y VT.

SNT-TC-1A-2011 DE LA ASNT.

Tabla 1. Resultado ensayo no destructivo en uniones soldadas.

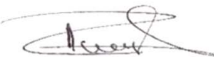
UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO	INSPECCION DE SOLDADURAS POR LIQUIDOS PENETRANTES	Elemento inspeccionado	MAQUINA ELIPITICA
		FECHA	25/04/2021
<p>CLIENTE: UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO</p> <p>MATERIAL: <u>ASTM A36</u></p> <p>UBICACIÓN:</p> <p>PRUEBA REALIZADA SEGÚN NORMA: <u>SNT-TC-1A-2011 de la ASNT</u></p>			
<p>Juntas realizadas por: <u>JUAN DANIEL BARRETO LOZANO Y VICTOR ANDREY CORTEZ BERNAL</u></p> <p>LIMPIADOR: <u>CANTESCO</u> TIPO: <u>Removedor</u></p> <p>PENETRANTE: <u>CANTESCO</u> TIPO: <u>Inserción por capilaridad</u></p> <p>REVELADOR: <u>CANTESCO</u> TIPO: <u>Suspensión acuosa o alcohólica</u></p> <p>LIMPIEZA: <u>A través de herramienta electromecánica (pulidora con grata y cepillo de cero)</u></p>			
<p>TIEMPO DE SECADO: <u>de 2 a 5 minutos</u></p> <p>TIEMPO DE PENETRACION: <u>de 5 a 15 minutos</u> REMOCION: <u>de 1 a 2 minutos con trapo de algodón</u></p> <p>TIEMPO DE REVELADO: <u>de 1 a 2 minutos</u> REMOCION: <u>Removedor y trapo de algodón</u></p> <p>TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE: <u>22 °C a 27 °C</u></p>			
<p>RESULTADOS: <u>Aceptable.</u></p> <p>OBSERVACIONES: <u>Soldadura con regularidad en la presentación</u></p>			
<p>Elaborado por: <u>ING. MECANICO</u></p> <p>Nombre: <u>Robert Poveda Tobar</u> Cargo: <u>Inspector de soldadura Nivel II</u></p> <p>Firma:  Fecha: <u>25-04-2021</u></p> <p><u>Nota: Soldadura de presentación aceptable sin ningún tipo de discontinuidad o indicación.</u></p> <p><u>W = Quien realiza la junta (operario de soldadura) N, A. J= Numero de junta o cantidad</u></p>			

Figura 1. Preparación de juntas



Figura 2. Líquido penetrante



Figura 3. Tinta reveladora





J1 y J2 sin ningún tipo de indicaciones y presentación de cordones de soldadura con buena regularidad.

Ensayo no destructivo PT OK.

Bibliografía

- Almirall Hernandez, J. (2018). *Ergonomía-Su aplicación en salud ocupacional*. Obtenido de SSOMA FUNDACION: <https://www.fundacionssoma.com/documentos/ergonomia-su-aplicacion-en-la-salud-ocupacional>
- Avila, R., Prado, L., & González, E. (2007). Dimensiones antropométricas de la población colombiana. En *Dimensiones antropométricas de la población colombiana* (págs. 163-219). Universidad de Guadalajara.
- Delgado Henríquez, N. (2004). *Determinación de la fuerza máxima aceptable para empujar y halar cargas*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
- EN16630. (2015). *EUROPEAN STANDARDS*. Obtenido de <https://www.en-standard.eu/bs-en-16630-2015-permanently-installed-outdoor-fitness-equipment-safety-requirements-and-test-methods/>
- ERGO CV. (diciembre de 2020). *Diseño ergonómico y antropometría*. Obtenido de <https://ergocv.com/disenio-ergonomico-y-antropometria/>
- Mabie, H., & Reinholtz, C. (2016). *Mecanismos y dinámica*. Limusa Wiley.
- Mata Cabrera, F. (Enero de 2004). *Ergonomía y diseño*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/28154041_Ergonomia_y_Disenio
- MedlinePlus. (2021). *Medicina, Biblioteca Nacional de EE.UU.* Obtenido de https://medlineplus.gov/spanish/ency/esp_imagepages/18138.htm#:~:text=Para%20determinar%20la%20frecuencia%20card%C3%ADaca,%2C5%20a%200%2C85.

Mott, R. L. (2006). *Diseño de elementos de maquinas* (Cuarta ed.). Mexico: Prentice Hall.

Shigley, J. E., & Mischke, C. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica*. México: McGraw-Hill.

Valencia, M. D., & Torres, W. R. (2020). *Diseño y construcción máquina biosaludable Pony*. Ibagué: Universidad Antonio Nariño.

WEBRUN Grupo Z. (15 de abril de 2016). *Bicicleta elíptica, la guía más completa*. Obtenido de <https://www.sport.es/labolsadelcorredor/bicicleta-eliptica-la-guia-mas-completa/>