

**DISEÑO DE SISTEMA DE PEDALEO COMBINADO PARA GENERACIÓN DE  
ENERGÍA DIRIGIDO A LA POBLACIÓN RURAL COLOMBIANA**

**DAVID FABIAN AMÉZQUITA FONSECA  
JUAN DIEGO BALLESTEROS GUEVARA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE FISICOMECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA**

**2021**

**DISEÑO DE SISTEMA DE PEDALEO COMBINADO PARA GENERACIÓN DE  
ENERGÍA DIRIGIDO A LA POBLACIÓN RURAL COLOMBIANA**

**DAVID FABIAN AMÉZQUITA FONSECA  
JUAN DIEGO BALLESTEROS GUEVARA**

**Trabajo de grado para optar título de Ingeniero Mecánico**

**Director:  
DIEGO FERNANDO VILLEGAS BERMUDEZ  
Ing. Mecánico, PhD**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE FISICOMECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA**

**2021**

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN.....	13
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
2. JUSTIFICACIÓN.....	18
3. OBJETIVOS .....	20
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	20
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
4. GENERALIDADES .....	21
4.1 ENERGÍAS RENOVABLES.....	21
4.2 GENERADOR ELÉCTRICO .....	23
4.3 TIPOS DE GENERADORES .....	24
5. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN RECOPIADA .....	26
5.1 ANTECEDENTES INTERNACIONALES .....	26
5.2 ANTECEDENTES NACIONALES.....	28
5.3 ANTECEDENTES REGIONALES.....	30
6. DISEÑO METODOLÓGICO.....	33
6.1 METODOLOGÍA DEL DISEÑO.....	33
6.1.1 Diseño en detalle.....	52
6.1.1.1 Análisis de parámetros.....	53
6.1.1.2 Cálculos basados en resistencia de materiales.....	53
6.1.1.3 Cálculos basados en fatiga .....	66
7. CONCLUSIONES .....	137
8. RECOMENDACIONES.....	138
BIBLIOGRAFÍA.....	139

## LISTA DE TABLAS

	<b>pág.</b>
Tabla 1. Requerimientos del usuario. ....	36
Tabla 2. Requerimientos ingenieriles. ....	36
Tabla 3. Matriz de relacionamiento. ....	37
Tabla 4. Escala de evaluación. ....	37
Tabla 5. Requerimientos ponderados. ....	38
Tabla 6. Constantes de diseño. ....	39
Tabla 7. Claves de la primera ronda del diseño conceptual del sistema de transmisión. ....	43
Tabla 8. Matriz pugh primera ronda transmision. ....	43
Tabla 9. Claves de la primera ronda del diseño conceptual del sistema de posicionamiento.....	47
Tabla 10. Matriz pugh primera ronda posicionamiento.....	48
Tabla 11. Claves de la segunda ronda del diseño conceptual del sistema de posicionamiento.....	50
Tabla 12. Matriz pugh primera ronda posicionamiento.....	51
Tabla 13. Dimensiones de profundidad total para dientes estandar.....	68
Tabla 14. Valores promedio de s.....	69
Tabla 15. Valores de y.....	69
Tabla 16. Anchos de caras.....	70
Tabla 17. Diametro de los ejes de la caja amplificadora de las piernas.....	75
Tabla 18. Coeficiente a y b en función del acabado superficial.....	84
Tabla 19. Factor ke dependiendo de la confiabilidad.....	85
Tabla 20. Cálculo de kf eje de entrada caja piernas.....	87
Tabla 21. Cálculo factores eje de entrada caja piernas.....	87
Tabla 22. Cálculo de kf eje intermedio caja piernas.....	87
Tabla 23. Cálculo factores eje intermedio caja piernas.....	87

Tabla 24. Cálculo de kf eje salida caja piernas. ....	88
Tabla 25. Cálculo factores eje salida caja piernas. ....	88
Tabla 26. Vida de los rodamientos en función del tipo de aplicación. ....	89
Tabla 27. Coeficiente en función de la confiabilidad. ....	90
Tabla 28. Valores de nc para distintos tipos de contaminación. ....	93
Tabla 29. Clasificación de aceites con su viscosidad.....	93
Tabla 30. Selección de rodamientos lado izquierdo del eje de entrada.....	94
Tabla 31. Selección de rodamientos lado derecho del eje de entrada. ....	94
Tabla 32. Selección de rodamientos lado izquierdo del eje intermedio. ....	94
Tabla 33. Selección de rodamientos lado derecho del eje intermedio.....	94
Tabla 34. Selección de rodamientos lado izquierdo del eje de salida. ....	95
Tabla 35. Selección de rodamientos lado derecho del eje de salida. ....	95
Tabla 36. Diámetro de los ejes de la caja amplificadora de las manos .....	95
Tabla 37. Cálculo de kf eje de entrada caja manos.....	107
Tabla 38. Cálculo factores eje de entrada caja piernas.....	107
Tabla 39. Cálculo de kf eje intermedio 1 caja piernas. ....	107
Tabla 40. Cálculo factores eje intermedio 1 caja piernas. ....	107
Tabla 41. Cálculo de kf eje intermedio 2 caja piernas. ....	108
Tabla 42. Cálculo factores eje intermedio 2 caja piernas. ....	108
Tabla 43. Cálculo de kf eje salida caja piernas. ....	108
Tabla 44. Cálculo factores eje salida caja piernas. ....	109
Tabla 45. Selección de rodamientos lado izquierdo del eje de entrada manos. ...	109
Tabla 46. Selección de rodamientos lado derecho del eje de entrada manos.....	109
Tabla 47. Selección de rodamientos lado izquierdo del eje intermedio 1 manos. 109	
Tabla 48. Selección de rodamientos lado derecho del eje intermedio 1 manos. .	110
Tabla 49. Selección de rodamientos lado izquierdo del eje intermedio 2 manos. 110	
Tabla 50. Selección de rodamientos lado derecho del eje intermedio 2 manos. .	110
Tabla 51. Selección de rodamientos lado izquierdo del eje de salida manos. ....	110
Tabla 52. Selección de rodamientos lado derecho del eje de salida manos. ....	110
Tabla 53. Anelli elastici per alberi retaining ring for shafts .....	115

Tabla 54. Diámetro mínimo de la polea .....	116
Tabla 55. Medidas de cuñero en función del diámetro .....	117
Tabla 56. Factores de servicio .....	119
Tabla 57. Largo de las correas .....	120
Tabla 58. Velocidad promedio del pedaleo por genero .....	128
Tabla 59. Criterios de ocurrencia de la falla. ....	132
Tabla 60. Criterios de severidad de la falla .....	132
Tabla 61. Criterios de calificación de detección. ....	133
Tabla 62. Análisis de modo de falla los efectos .....	134
Tabla 63. Costos ponderados .....	136

## LISTA DE ILUSTRACIONES

	<b>pág.</b>
Ilustración 1. Sistema de pedaleo combinado.....	15
Ilustración 2. Nasa esmd capstone the design process .....	34
Ilustración 3. Fases de diseño metodología capstone.....	35
Ilustración 4. Pre-fase a.....	35
Ilustración 5. Fase a .....	39
Ilustración 6. Rueda de inercia.....	41
Ilustración 7. Engranajes .....	41
Ilustración 8. Cadenas .....	42
Ilustración 9. Render caja de engranajes.....	44
Ilustración 10. Concepto a .....	45
Ilustración 11. Concepto b .....	46
Ilustración 12. Concepto c .....	47
Ilustración 13. Concepto d (bis ilustración 10).....	49
Ilustración 14. Concepto e .....	50
Ilustración 15. Fase b. ....	52
Ilustración 16. Láminas de acero de distintos espesores .....	55
Ilustración 17. Angulos ofrecidos por la empresa alumina .....	56
Ilustración 18. Geometría del variador de posición. ....	58
Ilustración 19. Disposición del espaldar de la silla. ....	60
Ilustración 20. Disposición del espaldar de la silla. ....	60
Ilustración 21. Comparación de cortantes y momentos para inclinación de 5° y 15°. ....	62
Ilustración 22. Comparación de cortantes y momentos para inclinación de 5° y 15°. ....	64
Ilustración 23. Catálogo de engranajes martin. ....	67
Ilustración 24. Tren de engranajes.....	70

Ilustración 25. Tren de engranajes de 4 ejes .....	72
Ilustración 26. Diagrama de cortante y momento eje de entrada caja para los pies plano xy .....	76
Ilustración 27. Diagrama de cortante y momento eje de entrada caja para los pies plano xz .....	77
Ilustración 28. Diagrama de cortante y momento eje intermedio caja para los pies plano xy .....	79
Ilustración 29. Diagrama de cortante y momento eje intermedio caja para los pies plano xz .....	80
Ilustración 30. Diagrama de cortante y momento eje salida caja para los pies plano xy.....	81
Ilustración 31. Diagrama de cortante y momento eje salida caja para los pies plano xz.....	82
Ilustración 32. Factor $k_t$ dependiendo del diámetro y la reducción .....	86
Ilustración 33. Factor $a_{skf}$ para los rodamientos radiales de bolas. ....	90
Ilustración 34. Temperatura de viscosidad según los grados iso. ....	91
Ilustración 35. Viscosidad nominal $v_1$ . ....	92
Ilustración 36. Diagrama de cortante y momento eje entrada caja para los manos plano xy .....	96
Ilustración 37. Diagrama de cortante y momento eje entrada caja para los manos plano xz .....	97
Ilustración 38. Diagrama de cortante y momento eje intermedio 1 caja para los manos plano xy .....	99
Ilustración 39. Diagrama de cortante y momento eje intermedio 1 caja para los manos plano xz .....	100
Ilustración 40. Diagrama de cortante y momento eje intermedio 2 caja para los manos plano xy .....	102
Ilustración 41. Diagrama de cortante y momento eje intermedio 1 caja para los manos plano xz .....	103

Ilustración 42. Diagrama de cortante y momento eje salida caja para los manos plano xy .....	105
Ilustración 43. Diagrama de cortante y momento eje salida caja para los manos plano xz .....	106
Ilustración 44. Valores para selección de chavetas.....	112
Ilustración 45. Poleas de 2 ranuras.....	117
Ilustración 46. Bujes para poleas .....	118
Ilustración 47. Correas convencionales .....	119
Ilustración 48. Diagrama de cortantes y momentos para posición más lejana de la silla. ....	121
Ilustración 49. Diagrama de cortantes y momentos para posición más cercana de la silla. ....	121
Ilustración 50. Perfil de aluminio comercial .....	122
Ilustración 51. Factores de apoyo en las columnas .....	125
Ilustración 52. Diagrama de pérdidas energéticas aproximadas. ....	131
Ilustración 53. Gráfica rpn vs causas .....	134
Ilustración 54. Gráfica ocurrencia vs severidad.....	135

## **LISTA DE ANEXOS**

**(Ver anexos adjuntos y pueden visualizarlos en la Base de datos de la Biblioteca UIS)**

Anexo A. Matriz casa de calidad.

Anexo B. Planos del sistema

Anexo C. Hojas de ruta

Anexo D. Hojas de ensamble

## RESUMEN

**Título:** DISEÑO DE SISTEMA DE PEDALEO COMBINADO PARA GENERACION DE ENERGIA DIRIGIDO A LA POBLACION RURAL COLOMBIANA\*

**Autores:** DAVID FABIAN AMÉZQUITA FONSECA y JUAN DIEGO BALLESTEROS GUEVARA\*\*

**Palabras claves:** ENERGÍA, SISTEMA DE PEDALEO, ERGONÓMICO, COLOMBIA.

### **Descripción:**

Esta investigación abordó la temática energética que afecta al sector rural en Colombia, debido a que muchas de las comunidades que se encuentran allí no pueden acceder con facilidad a esta fuente que ahora es vital para el desarrollo de las actividades diarias. Sin embargo, muchos de los que se encuentran en las zonas más alejadas de la sociedad y tienen acceso a ello poseen constantes problemas con su funcionamiento. Por lo que, se tuvo en cuenta las condiciones que poseen estos grupos con el fin de que el diseño de sistemas de pedaleo combinado fuera confiable y de fácil manejo.

Por lo tanto, el objetivo principal de la investigación fue diseñar un mecanismo productor de energía atendiendo a las necesidades en su mayoría de las personas que realizan trabajos en el campo. Con ello, se buscó la forma en que esta acción evitara el agotamiento físico y mantuviera su función original. Por lo que, su diseño ergonómico, de fácil acceso y manejo permitirá la mayor comodidad a quien la use. De igual forma, dará la opción de tener una gran durabilidad, y funcionamiento continuo a diferencia de otros artefactos energéticos que dependen de las condiciones climáticas, con esto puede atender a las necesidades de las diferentes zonas del territorio colombiano.

Por otro lado, se planteó una metodología con enfoque cualitativo, ya que su diseño permite la adaptación a distintos tipos de personas. Con ello, se tuvo en cuenta los pasos planteados en “NASA ESMD Capstone Design Process” con el fin de obtener el mejor resultado en cuanto a estructura confiable y fácil de usar. Puesto que, el desarrollo de la perspectiva teórica se basó en la revisión de documentos académicos que permitían la sustentación y complementar el diseño propuesto en este documento.

---

\* Trabajo de grado

\*\* Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: PhD. Diego Fernando Villegas Bermudez.

## ABSTRACT

**Title:** DESIGN OF A COMBINED PEDALING SYSTEM FOR ENERGY GENERATION AIMED AT THE RURAL COLOMBIAN POPULATION\*

**Authors:** DAVID FABIAN AMÉZQUITA FONSECA y JUAN DIEGO BALLESTEROS GUEVARA\*\*

**Keywords:** ENERGY, PEDALING SYSTEM, ERGONOMIC, COLOMBIA.

### **Description:**

This research addressed the energy issue that affects the rural sector in Colombia, because many of the communities that are there cannot easily access this source that is now vital for the development of daily activities. However, many of those who are in the most remote areas of society and have access to it have constant problems with their functioning. Therefore, the conditions of these groups were taken into account in order that the design of combined pedaling systems was reliable and easy to use.

Therefore, the main objective of the research was to design an energy-producing mechanism meeting the needs of most of the people who work in the rural sector. With this, a way was sought in which this action would avoid physical exhaustion and maintain its original function. Therefore, its ergonomic design, easy access and handling will allow the user to be more comfortable. In the same way, it will give the option of having a great durability, and continuous operation unlike other energy devices that depend on the weather conditions, with this it can meet the needs of the different areas of the Colombian territory.

On the other hand, a methodology with a qualitative approach was proposed, since its design allows adaptation to different types of people. With this, the steps outlined in "NASA ESMD Capstone Design Process" were taken into account in order to obtain the best result in terms of a reliable and easy-to-use structure. Since, the development of the theoretical perspective was based on the review of academic documents that allowed the support and complement the design goal in this document.

---

\* Bachelor Thesis

\*\* Faculty of Physicomechanical Engineering. School of Mechanical Engineering. Director: PhD. Diego Fernando Villegas Bermudez.

## INTRODUCCIÓN

El mundo actualmente posee una interacción constante con las fuentes que hacen posible el desarrollo sostenible, ya que las fuentes no renovables afectan negativamente el ambiente. Es de resaltar que hay un factor determinante en la sociedad, el cual denominamos “energía”. Por lo que, en varios lugares del planeta se intenta usar a gran escala energías renovables a través de paneles y aerogeneradores, que aún son insuficientes. Puesto que, se generan distintos limitantes como lo son los materiales, condiciones climáticas, entre otros; como es el caso de la eólica o hidráulica. Es así que, estos medios de generación alternativa no cumplen con la función que se les demanda y su intermitencia hace que no sean aptos en todo momento.

Es por esto por lo que, el gobierno nacional ha optado por usar ciertas fuentes de energía renovables establecidas en la ley 1715 de 2014<sup>1</sup>; con el fin de mitigar el daño ambiental. Con ello, un ejemplo claro del gran avance que se está teniendo en este sector se puede ver reflejado en Bucaramanga Santander. Puesto que, las ciudades tienen una gran competencia por relucir su apoyo con el planeta (colegios<sup>2</sup>, casas, empresas, bloques de apartamentos, entre otros) han optado por usar alguna energía renovable para reemplazar la común. Por otra parte, continúan los cortes de energía en las zonas rurales por el mal servicio en general o la falta de pago. No obstante, quienes se encuentran allí no tienen la posibilidad de establecer contacto con familiares y amigos. Puesto que, sus electrodomésticos no

---

<sup>1</sup> COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA. ley 1715. (13, mayo, 2014). Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional [en línea]. Bogotá D.C.: Diario Oficial. 2014. nro. 51544. P. 1-16. [Consultado: 10 de enero de 2021]. Disponible en: [http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley\\_1715\\_2014.html](http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1715_2014.html)

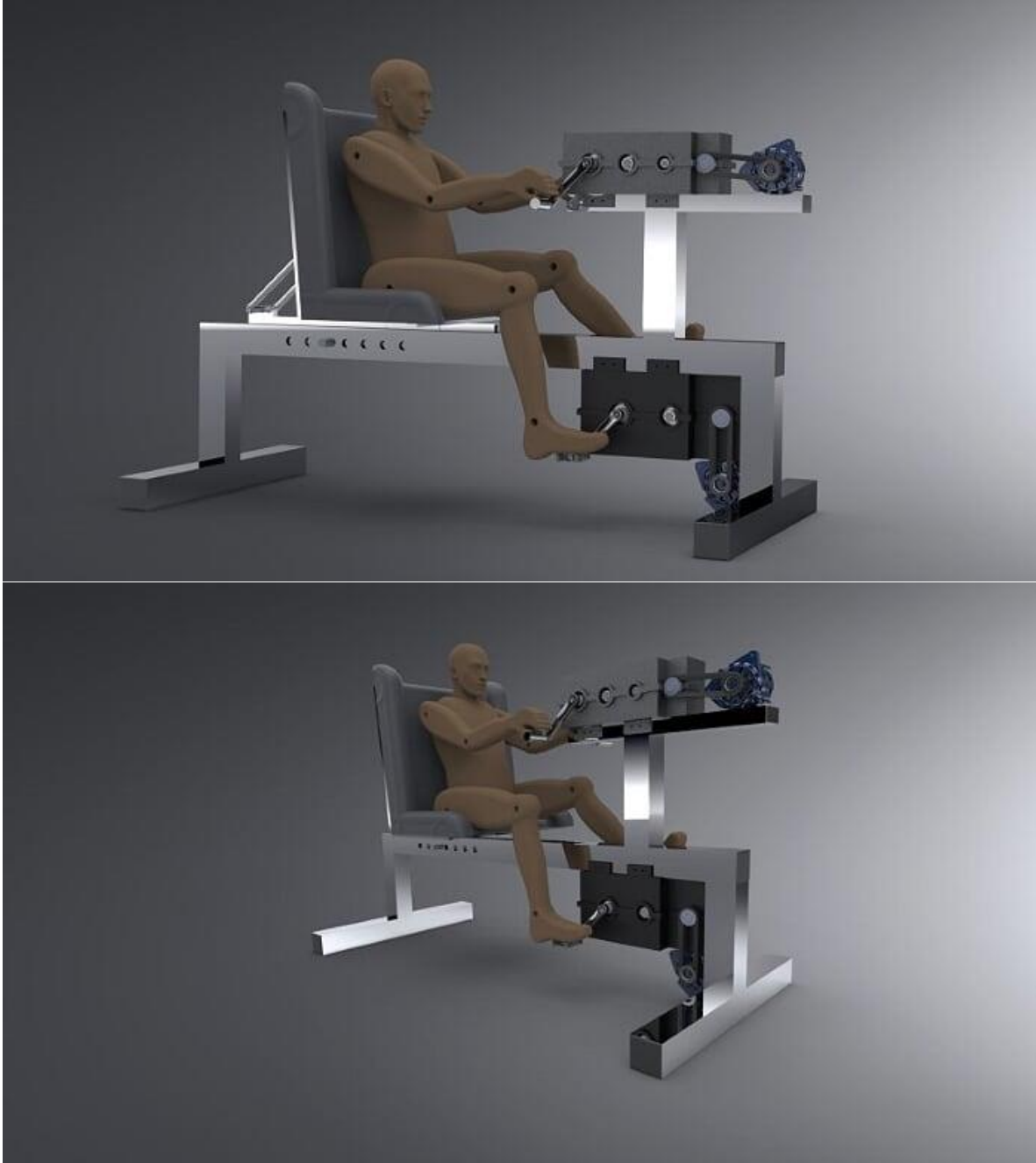
<sup>2</sup> KILÔ ARDILA, Euclides. El Salesiano iluminó todo el colegio con energía solar [en línea]. En: *Vanguardia*. Bucaramanga. 17, marzo, 2017. [Consultado: 10 de enero de 2021]. Disponible en: <https://www.vanguardia.com/area-metropolitana/bucaramanga/el-salesiano-ilumino-todo-el-colegio-con-energia-solar-LQVL392108>

tienen otra forma de funcionar sino es a través de alguna conexión directa a esta fuente de energía. Con ello, ¿es posible que los campesinos puedan usar una energía renovable sin necesidad de realizar gran esfuerzo físico, que no se encuentre sometido a limitantes por cambios climáticos y confiables?

Por lo tanto, el diseño del sistema de pedaleo combinado para la generación de energía facilitará la obtención de esta. Con el fin de que las personas obtengan una forma de sustentar una necesidad que actualmente es básica en su hogar de la mejor manera. Por lo que, el objetivo de este proyecto es desarrollar un modelo ergonómico, mecánico y energético que busca solucionar las dificultades por las que pasan grupos pertenecientes a las zonas rurales al momento en que se presentan cortes de energía.

Con esto, se trabajó a fondo en el problema planteado con unos objetivos que dan la base para el desarrollo del proyecto. Así mismo, se obtuvo la información pertinente para poder relacionar las diferentes energías renovables. Además de estudiarlas con algunos textos académicos para reforzar la hipótesis planteada. Por lo que, se dio un diseño metodológico que culminó con los planos del modelo establecido para la presentación del proyecto final.

**Ilustración 1. Sistema de pedaleo combinado**



## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Partiendo del problema de las pocas alternativas de solución existentes en el ámbito nacional en cuanto a la obtención de electricidad de forma alternativa destinado a los sectores rurales, se propone el diseño de un sistema de pedaleo combinado destinado a la generación de energía eléctrica. De acuerdo con el Plan Indicativo de Expansión de Cobertura (Piec), el servicio de energía eléctrica actual en el territorio nacional es de 427.697 viviendas (usuarios) sin servicio (más de 1'500.000 personas), de las cuales 213.700 se encuentran en zonas interconectables y 213.997 en zonas no interconectadas<sup>3</sup>.

En el contexto de Colombia y otros países de Latinoamérica, aparece con toda claridad la necesidad en muchos sectores alejados de los núcleos urbanos de poseer un medio alternativo de generación de energía eléctrica de fácil acceso y funcionamiento para poder suplir la falta de energía. Aunque existen otros intentos para solucionar este problema: como por ejemplo energía solar y con motores estas dependen en gran manera de condiciones climáticas específicas que no son posibles en todas las regiones ni épocas del año y también de precios de combustibles variables, en el caso de la generación eléctrica a través de motores, resulta muy costosa para el beneficiario a su vez pagar este servicio continuamente muchas veces resulta imposible<sup>4</sup>. Este tipo de alternativas solucionan solo una parte del problema, por esto se hace necesario diseñar una forma viable de producción energética con el fin de mejorar la calidad de vida de estas comunidades.

---

<sup>3</sup> LÓPEZ SUÁREZ, Alfonso. El Gobierno le llevará energía eléctrica a 152 municipios [en línea]. En: *portafolio*. 28, mayo, 2019. [Consultado: 17 de junio de 2020]. Disponible en: <https://www.portafolio.co/economia/el-gobierno-le-llevara-energia-electrica-a-152-municipios-530039>

<sup>4</sup> VIVAS, Julián. El mapa de 1.710 poblados que aún se alumbran con velas en Colombia [en línea]. En: *El tiempo*. Bogotá. 12, febrero, 2019. [Consultado: 15 de junio de 2020]. Disponible en: <https://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/los-lugares-que-aun-viven-sin-energia-electrica-en-colombia-325892>

Por lo mencionado es imperativo el diseño del sistema que contribuya en la solución a la problemática referida anteriormente.

## 2. JUSTIFICACIÓN

De cara a la problemática de las constantes interrupciones en el sistema eléctrico que se presentan muy a menudo en el sector rural. Según datos del Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas no Interconectadas (Ipse), hay 1.710 localidades rurales en Colombia en donde se calcula que 128.587 personas solo acceden al servicio entre cuatro y doce horas al día<sup>5</sup>. De acuerdo al sistema de información eléctrico colombiano (SIEL) se estima que solo el 86,83% de la población rural cuenta con energía eléctrica siendo que un 3,47% de la población total colombiana no cuenta con este servicio<sup>6</sup>, sin embargo una mayor cantidad que presenta intermitencia en el mismo. Estos son especialmente desatendidas por parte de las empresas prestadoras del servicio, se hace necesario desarrollar una forma alternativa de producción de energía de bajo costo que ayude a las familias en este sentido, de tal manera que puedan continuar con sus actividades cotidianas a pesar de dichas interrupciones; por medio de esta aplicación se pretende suplir una parte de los requerimientos energéticos de las comunidades rurales y permitirles que a pesar de las interrupciones del servicio eléctrico, continúen con sus actividades cotidianas y productivas, como por ejemplo, el uso de sus dispositivos de comunicación, artefactos de cocina o herramientas de trabajo.

En este orden de ideas, nuestra propuesta parte de la intención de otorgar la mayor importancia a que el ingeniero mecánico sea ante todo sensible a las necesidades propias de los habitantes de las zonas rurales, con especial énfasis en un diseño que sea factible y de fácil uso para las comunidades, se estima que dado que su

---

<sup>5</sup> *Ibíd.*

<sup>6</sup> Sistema de información eléctrico colombiano. ICEE 2018 [en línea]. 30 de diciembre de 2019. [Consultado: 16 de junio de 2020]. Disponible en: <http://www.siel.gov.co/Inicio/CoberturadelSistemaInterconectadoNacional/ConsultasEstadisticas/tabid/81/Default.aspx>

uso se centra en eventos fortuitos y que la población a la cual va dirigida no son grandes consumidores, la producción media de energía eléctrica será de alrededor de 60 W.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

Diseñar un sistema mecánico de pedaleo combinado de tren inferior y superior mediante análisis ergonómico, para generar energía eléctrica y suplir las necesidades del sector rural colombiano.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Diseñar un sistema de pedaleo combinado por medio de un proceso de diseño sistemático CAPSTONE, para generar energía eléctrica y suplir las necesidades del sector rural colombiano.
- Verificar la viabilidad del sistema completo desde un punto de vista del diseño, mecánico y energético basados en los cálculos obtenidos mediante par motor y velocidad angular.
- Implementar una hoja de ruta y de ensamble donde sea posible apreciar el proceso de diseño y de construcción que el sistema tendría en su puesta en marcha, adicional a esto se entregarán planos detallados del sistema.

## 4. GENERALIDADES

### 4.1 ENERGÍAS RENOVABLES

El termino energías renovables puede tener una gran variedad de significados dependiendo de los usos y formas de generación de esta, sin embargo, en términos generales son aquellas que se producen de forma continua y son inagotables a escala humana; se renueva continuamente, cosa que no sucede con algunos como los combustibles fósiles<sup>7</sup>.

Una gran cantidad de formas de generación se encuentran hoy día a disposición de la población, muchas de ellas hacen uso de combustibles fósiles, los cuales son perjudiciales para el medio ambiente ya que producen gases contaminantes, otra parte de esas formas de generar energía que se han vuelto notables en los últimos años son las que se renuevan, las más representativas actualmente son la energía solar: esta energía se puede absorber por los paneles y colectores solares, hidráulica: aprovechada por las turbinas que se instalan en las hidroeléctricas, donde se almacena una gran cantidad de fluido el cual al dejarse caer desde una gran altura se transforma, mareomotriz: esta se produce por el movimiento de las olas. Además de estas existen otros tipos de energía, tal es el caso de la biomasa, eólica, geotérmica, además de la generada por el movimiento de una persona. Este tipo de energías presenta una gran variedad de ventajas sobre la energía generada por los combustibles, aunque también presenta desventajas con respecto a la misma.

Como se refiere anteriormente estas fuentes de energía no se acaban con el paso del tiempo lo que asegura que al hacer uso de las mismas la energía se producirá

---

<sup>7</sup> SCHALLENBERG RODRÍGUEZ, Julieta C, *et al.* Energías renovables y eficiencia energética. 1 ed. España: Instituto tecnológico de Canarias, S.A, 2008. p.46. ISBN 978-84-69093-86-3

sin riesgos para el medio ambiente, ya que evitan la formación de gases nocivos para el ambiente que son los responsables del efecto invernadero que ahora mismo se ve en el cambio climático que afecta el planeta. Una desventaja de su uso se puede notar en la poca cantidad de energía que se genera en el caso de la energía solar por cada metro de panel se produce poca energía, sin embargo esto se puede solucionar aumentando el área con más paneles, en el caso del resto la solución se presenta de forma similar un aumento de los generadores puede producir una cantidad mayor lo que supliría as necesidades de consumo humanas.

A su vez también el ser humano a través de su movimiento puede generar energía, sin embargo, esta alternativa no ha sido estudiada con mucha fuerza, ya que el ser humano mediante un proceso de transformación que tiene lugar en el estómago toma la energía de los alimentos y a su vez la transforma en capacidad motriz, sin embargo, al implementarse un proceso basado en trabajo muscular una parte de esa energía gastada puede ser convertida en energía aprovechable y podría ser almacenada para su posterior uso en las necesidades del hogar.

Al realizar un análisis de la manera como la población del mundo ha ido en un constante aumento durante los últimos tiempos y aún más visible en el último siglo, sin embargo, se estima que para el año 2030 la población será de alrededor de 8000 millones de personas<sup>8</sup>. Esta estimación no puede estar más lejos de la realidad ya que se sabe que la población supero hace tiempo los 7000 millones, lo que deja como evidencia que el ritmo de crecimiento de la población mundial es muy rápido, esto traerá como consecuencia un aumento del consumo de energía lo que provocara que las industrias tengan que trabajar de mejor manera y por ello que suban los precios de la misma, esto provocara que las personas de los campos se

---

<sup>8</sup> ESTRADA GASCA, C. A. Transición energética, energías renovables y energía solar de potencia. Revista Mexicana de Física [en línea]. 2013, 59(2), 75-84 [Consultado: 18 de Julio de 2020]. ISSN: 0035-001X. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57030971010>

queden sin este suministro por esto es necesario investigar formas de producción de energía alternativas y amigables con el medio ambiente.

## 4.2 GENERADOR ELÉCTRICO

Existen dispositivos que pueden convertir en energía mecánica que se origina a través del movimiento en energía eléctrica que se utiliza ampliamente en electrodomésticos. El funcionamiento de estos se basa en el fenómeno de inducción electromagnética, que a su vez está contemplado en el principio que se enunció por el físico Michael Faraday, este descubrió el mismo en el año de 1831, esto se basó en la observación de que se puede producir una corriente eléctrica en un conductor cerrado, esta misma dependerá del campo magnético que esté afectando a la misma, la cual es conocida como corriente inducida electromagnéticamente<sup>9</sup>.

Muchos de los dispositivos que actualmente son usados para la generación o que funcionan haciendo uso de este principio se les conoce como máquinas eléctricas rotativas, reciben este nombre por su forma de funcionamiento, su objetivo es el de En el caso de un generador es transformar la energía, si la transformación se produce de energía mecánica a eléctrica recibe el nombre de alternador, al tratarse del proceso opuesto recibe el nombre de motor. Este se caracteriza por que el sistema mecánico obtiene energía a través de un movimiento que puede ser circular, recto, de caída, se genera energía mecánica a través del movimiento, la cual posteriormente se transforma en energía eléctrica, este proceso es reversible, aunque como ocurre con todos los procesos una cantidad de energía se pierde; por fricción, por calor, entre otras<sup>10</sup>.

---

<sup>9</sup> ESCÁRCEGA PLIEGO, Eduardo Abraham. Inducción electromagnética [en línea]. 2011. [Consultado: 19 de Julio de 2020]. Disponible en: <http://cursodefisica.co.uk/pdf/induem-tcarta-2a.pdf>

<sup>10</sup> HERTA, Manuel Cortés. Curso moderno de máquinas eléctricas rotativas. Principios Fundamentales. nro. 1. España: Barcelona. 1994. ISBN: 84-7146-021-1

### 4.3 TIPOS DE GENERADORES

Existen algunos tipos de generadores que se encuentran en uso actualmente, estos se nombran dependiendo del tipo de aplicación en la cual vayan a ser implementados:

- **Generador eólico:** Este tipo de generador se basa en el principio de usar la fuerza que se genera a través del viento, esta fuerza es absorbida por el aspa en forma de presión y a su vez consigue el movimiento de un mecanismo interno montado sobre un eje el cual cubre el cuerpo del generador.
- **Generador geotérmico:** Este generador funciona aprovechando las fuentes de energía que están presentes en algunos lugares específicos de la tierra, esta energía se manifiesta en forma de calor que a su vez es aprovechado para calentar agua, que luego de formado el vapor con la misma se usara en un ciclo termodinámico de aprovechamiento como lo son el Rankine y el Brayton, para generar un aprovechamiento en una turbina.
- **Generador hidráulico:** En este tipo de generador se hace uso de la energía producida por la caída de un líquido que se encuentra a una altura considerable con lo que adquiere una gran energía potencial que posteriormente se transforma en energía cinética al momento de la caída y luego a energía eléctrica al golpear las aspas de la turbina.
- **Generador solar:** Con estos se aprovecha la energía que es recibida del sol a través de la radiación que incide sobre el planeta, esta se puede transformar en energía eléctrica o en calor, por medio de generadores fotovoltaicos o calentadores solares respectivamente.

- Generador mareomotriz: Aprovecha la energía generada por el movimiento del mar que es permanente y la transforma a su vez en energía eléctrica disponible.<sup>11</sup>

Además de estos existen otros dispositivos que generan energía eléctrica a través de transformaciones de otros tipos de energías, sin embargo los estudios más avanzados se realizan sobre los que se listan anteriormente.

---

<sup>11</sup> NAVARRETE MONDRAGÓN, Valdemar, PINEDA JIMÉNEZ, Williams y TREJO GONZÁLEZ, Carlos. Generación de energía eléctrica por imanes de neodimio. Ingeniero electricista. México D.F: Instituto politécnico nacional .Unidad profesional Adolfo López Mateos. 2015. 12p.

## 5. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN RECOPIADA

### 5.1 ANTECEDENTES INTERNACIONALES

- Generation of Electrical Power using Bicycle Pedal<sup>12</sup>

En este artículo se presenta una forma para generar energía como es la energía giratoria de la bicicleta producida mediante el pedaleo, que puede usarse para dispositivos en centros comerciales. Mostrando las diferentes situaciones y opciones en las que se puede usar dinamo o alternador.

Para tener en cuenta en nuestro desarrollo del proyecto tomamos como punto de análisis de este artículo, los diferentes estudios y pruebas hechas tanto con el alternador como con el dinamo teniéndolos como base a la hora de escoger alguno de estos dos.

- A review on the advancement of human powered flywheel motor (HPFM) in India and its application for rural empowerment<sup>13</sup>

En este estudio se puede observar la viabilidad funcional y la viabilidad económica de procesos impulsados por pedal en máquinas de 3 a 5 caballos de fuerza aumentando su utilidad para aplicaciones en zonas rurales. Además de la revisión de varias investigaciones realizada en el sistema de motor volante humano.

El desarrollo de este artículo nos da una idea a gran escala de las diferentes soluciones que se están dando en el mundo a la problemática de la falta de

---

<sup>12</sup> SUHALKA, Rajneesh, et al. Generation of Electrical Power using Bicycle Pedal. *International Journal of Recent Research and Review*, 2014, vol. 7, no 2, p. 63-67

<sup>13</sup> DUBEY, Harsh Kumar, et al. A review on the advancement of human powered flywheel motor (HPFM) in India and its application for rural empowerment. *Materials Today: Proceedings*, 2020.

electricidad en algunas zonas rurales, en este caso en la India donde uno de los principales medios de transporte es la bicicleta y como se ve utilizada está en varios procesos donde la fuente de alimentación intermitente no afecta la calidad final del producto.

- Experimental Study of Home Automation by Bicycle Pedal Power Using of Different Sprocket.<sup>14</sup>

Intenta medir las tasas de pedaleo óptimas para una potencia dada niveles de salida, así como diseñar el óptimo número de engranajes y el engranaje correspondiente con respecto al desempeño humano y eficiencia energética.

Se tomará en cuenta el estudio ya que tiene relación en cuanto a la optimización del número de engranajes, también tiene las tasas optimas que en promedio se deben utilizar y tiene en cuenta la ergonomía en el desarrollo del estudio.

- Diseño de producto: generación de energía eléctrica a partir de bicicletas fijas de indoor.<sup>15</sup>

En esta tesis se plantea el diseño de un sistema que permita generar electricidad a partir de la energía cinética generada por personas durante su práctica indoor cycling en un gimnasio, aprovechando la energía desperdiciada acumulándola en baterías de reemplazo.

---

<sup>14</sup> SINGH, Ram; SHARMA, D. C. Experimental Study of Home Automation by Bicycle Pedal Power Using of Different Sprocket. *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)*, 2014, vol. 8, no 2, p. 77-81.

<sup>15</sup> GANGI, Sergio, et al. *Diseño de producto: generación de energía eléctrica a partir de bicicletas fijas de indoor*. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

Este proyecto da apoyo en el caso del estudio de los componentes y el diseño que se puede tener en cuenta a la hora de seleccionar alternativas e incluso de hacer el propio mirando también la energía producida por las personas de un gimnasio.

## 5.2 ANTECEDENTES NACIONALES

- Análisis de variables eléctricas para una bicicleta generadora de energía eléctrica.<sup>16</sup>

El objetivo de este proyecto es analizar el comportamiento eléctrico de la bicicleta generadora de energía. Haciendo gran énfasis en las calorías que quema el ser humano en la utilización de esta, el proceso energético del cuerpo humano y la conversión de energía mecánica a eléctrica.

Este proyecto aporta en gran medida en cuanto a su investigación del comportamiento eléctrico, algunos de sus componentes, el funcionamiento de estos, la descripción de variables y partes eléctricas del sistema.

- Bicicleta estática generadora de energía eléctrica como aprendizaje en el uso eficiente de energía.<sup>17</sup>

Este proyecto se enfoca a brindar una alternativa viable para la instalación en zonas de recreación deportiva beneficiando la salud de las personas motivándolas a realizar ejercicio.

---

<sup>16</sup> ARIAS CARMONA, ANGELA and GARCÍA RENGIFO, Jhonatan, , *Análisis de variables eléctricas para una bicicleta generadora de energía eléctrica*. tecnólogo en electricidad. Universidad Tecnológica de Pereira. 2017

<sup>17</sup> MANTILLA, Carlos Eduardo Vargas, et al. Bicicleta estática generadora de energía eléctrica como aprendizaje en el uso eficiente de energía. *Revista Tecnología y Productividad*, 2018, vol. 4, no 4, p. 61-74.

Es interesante ver el enfoque que se le da desde el SENA a este tipo de proyectos viéndolo muy enfocado a los estudiantes de la misma institución para la carga de sus dispositivos eléctricos. Teniendo uso en nuestro estudio de los componentes mecánicos y eléctricos seleccionados para tenerlos en cuenta en gran medida en la relevancia que van a tener más adelante.

- Desarrollo de un sistema de generación eléctrica eficiente a partir de propulsión humana con base en una bicicleta estática.<sup>18</sup>

Este proyecto presenta el análisis de generación energética con propulsión humana empleando una bicicleta estática como elemento común, accesible por muchos hogares colombianos. Se presentan los diferentes factores que intervienen en el aprovechamiento de este tipo de energía, empleando un alternador como dispositivo de transformación de energía mecánica a eléctrica.

Da una vista más a profundidad en cuanto al alternador para tener una idea clara a la hora de seleccionar componentes como también nos muestra el sistema de transmisión, además de darnos en gran medida idea de la cantidad de bicicletas estáticas que se han implementado en el país con el objetivo de convertirla en energía eléctrica.

- Sistema de microgeneración de energía a través del ejercicio humano.<sup>19</sup>

El proyecto pretende desarrollar un prototipo que demuestre la viabilidad del uso de las bicicletas de spinning como fuente de energía renovable, dando como resultado

---

<sup>18</sup> LÓPEZ VELÁSQUEZ, Robinson. *Desarrollo de un sistema de generación eléctrica eficiente a partir de propulsión humana con base en una bicicleta estática*. 2015. Tesis Doctoral. Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Tecnologías. Tecnología Mecánica.

<sup>19</sup> AGUDELO VÉLEZ, Felipe and GARCÍA ALEGRÍAS, Andrés Felipe, , *Sistema de Microgeneración de Energía a través del Ejercicio Humano*. Ingeniería Electrónica. Pontificia Universidad Javeriana, Santiago de Cali. 2016

que una bicicleta es capaz de generar suficiente energía para darle comodidades al usuario como iluminación del lugar donde se ejercita, la carga de dispositivos móviles y además almacenar energía en baterías.

Este proyecto sirve para darnos una idea que segundo los estudios y pruebas realizadas de a que más se podría dar electricidad demostrando el poco énfasis en ergonomía que se le han dado a estos diseños y que realmente no se ha tenido en cuenta las partes más alejadas ruralmente hablado. Además de que da una idea de las baterías que se podrían utilizar dependiendo los resultados que se quieran obtener.

### **5.3 ANTECEDENTES REGIONALES**

- Diseño de un sistema de generación de energía eléctrica a partir de bicicletas estáticas.<sup>20</sup>

En este trabajo de investigación se presenta el diseño de un sistema de generación de energía eléctrica que contara con 18 unidades y que se configuro a partir de dos subsistemas, el primero, de conexión e inyección de energía eléctrica en tiempo real a la red eléctrica y el segundo de conexión aislada con almacenamiento para la alimentación de cargas específicas.

Esta investigación muestra detalles importantes sobre la conexión directa a la red y la conexión a una batería para saber que alternativa tratar de mejor forma y cual sería más óptima a escoger en el desarrollo del proyecto, además de dar datos importantes sobre el desempeño de un tripulante promedio.

---

<sup>20</sup> VON DRAIS, Karl; MCCAL, Thomas. Diseño de un sistema de generación de energía eléctrica a partir de bicicletas estáticas. 2014.

- Análisis comparativo de generadores reusados para generación eléctrica a partir de bicicletas estáticas.<sup>21</sup>

Este trabajo compara el desempeño de dos generados eléctricos reusados, un alternador de automóvil y un motor DC de imanes permanentes acoplados a una bicicleta estática determinando a partir de pruebas la potencia máxima y promedio transmitida por un tripulante, mirando también el rendimiento de los generadores.

Se puede emplear de gran manera la información de este trabajo para saber el funcionamiento que podría tener el proyecto en dado caso de que se necesite hacer mantenimiento sabiendo que se pueden reutilizar piezas que pueden estar a un más fácil alcance para la población rural.

- Generación de energía eléctrica a partir de una bicicleta estática: montaje de una unidad generadora piloto.<sup>22</sup>

Esta tesis expone el montaje, rediseño y puesta en operación de un sistema de generación de energía eléctrica a partir de una bicicleta spinning, en la que esta se compone de dos subsistemas, uno aislado y otro conectado a la red eléctrica utilizando un alternador de automóvil como generador.

Al realizar un análisis energético de cada uno de los subsistemas junto con el análisis financiero de todo el proyecto se puede evaluar su viabilidad junto con la de

---

<sup>21</sup> RODRÍGUEZ, R., et al. Análisis comparativo de generadores reusados para generación eléctrica a partir de bicicletas estáticas Comparative analysis of reused generators for electric generation based on static bikes.

<sup>22</sup> DURAN CHACON, Jose Vicente; GIL FERNANDEZ, Algemiro Jose. *Generación De Energía Eléctrica A Partir De Una Bicicleta Estática: Montaje De Una Unidad Generadora Piloto*. 2014. Tesis Doctoral. Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones.

sus componentes para saber que seleccionar sabiendo que los componentes y precios pueden estar más económicos y que puede haber productos más avanzados que haga óptimo y económico el proyecto.

- Diseño de un sistema de generación de energía eléctrica a partir de bicicletas estáticas.<sup>23</sup>

Plantea pautas en el diseño de un sistema de generación de energía partiendo de un estudio de las generalidades de la generación como comportamiento de la velocidad de un tripulante y características velocidad-potencia de salida de un generador de imán permanente junto con la bicicleta a ser empleada, elementos y acondicionamiento de energía para cada una de las posibilidades de generación.

Este trabajo sirve en la medida que se pueden ver estudios de generación de energía eléctrica en bicicletas estáticas hechos en la universidad dando sentido al proyecto y tomándolo como base en diferentes factores gracias a pruebas y estudios que este ya realizó.

---

<sup>23</sup> NUNEZ RODRIGUEZ, Carlos Fabian; FLOREZ REYES, Julian Oswaldo. *Diseño De Un Sistema De Generación De Energía Eléctrica A Partir De Bicicletas Estáticas*. 2011. Tesis Doctoral. Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones.

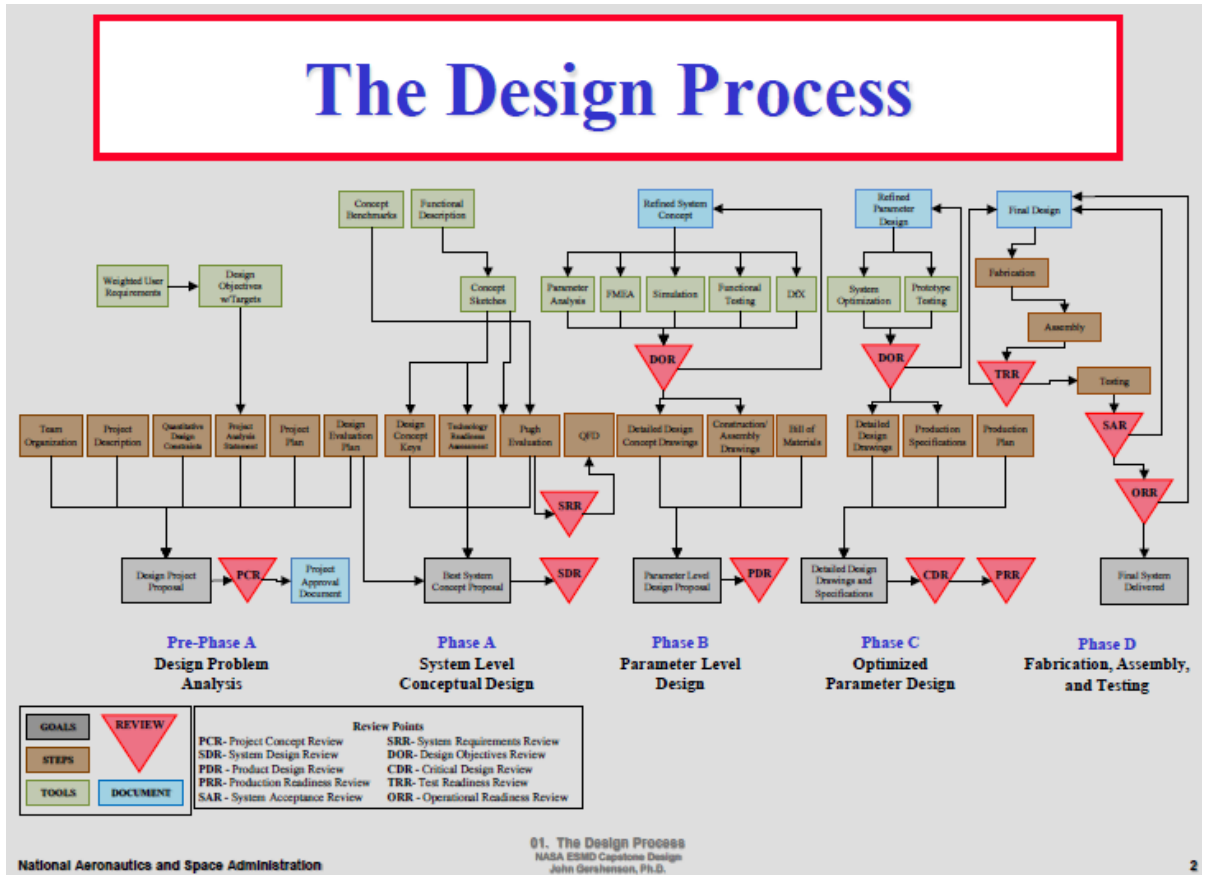
## **6. DISEÑO METODOLÓGICO**

El funcionamiento de la maquina se basa en el concepto del pedaleo que se ve aplicado en las bicicletas, sin embargo, debido a la incomodidad que estas presentan en su funcionamiento en cuanto a la posición, el estudio del confort es una parte importante. El funcionamiento del aparato estático se apoyará de un movimiento realizado con el tren superior esto con el fin de minimizar el tiempo necesario para que esta lleve a cabo su cometido, también permitiría que pueda ser usado por personas con incapacidad ya sea en sus brazos o en sus piernas haciéndola útil para un más amplio número de usuarios.

### **6.1 METODOLOGÍA DEL DISEÑO**

Para el desarrollo del proyecto como proceso de desarrollo se usa la metodología de diseño conocida como “NASA ESMD Capstone Design Process”, este se lleva a cabo a través de unas fases las cuales comienzan con un análisis detallado del problema de diseño teniendo en cuenta los requerimientos que presentan cada una de las partes involucradas en el diseño y finaliza con el diseño en detalle de los componentes involucrados en las distintas etapas. Aunque también se incluyen partes como la construcción esta no se tiene en cuenta debido a que el alcance del proyecto se limita solo a la parte del diseño.

Ilustración 2. NASA ESMD Capstone The Design Process



Fuente: GERSHENSON, John K, PhD. Pre-fase A.[n.d].NASA ESMD Capstone Design.The Design process\_NASA. Pág 2.

### Ilustración 3. Fases de diseño metodología Capstone

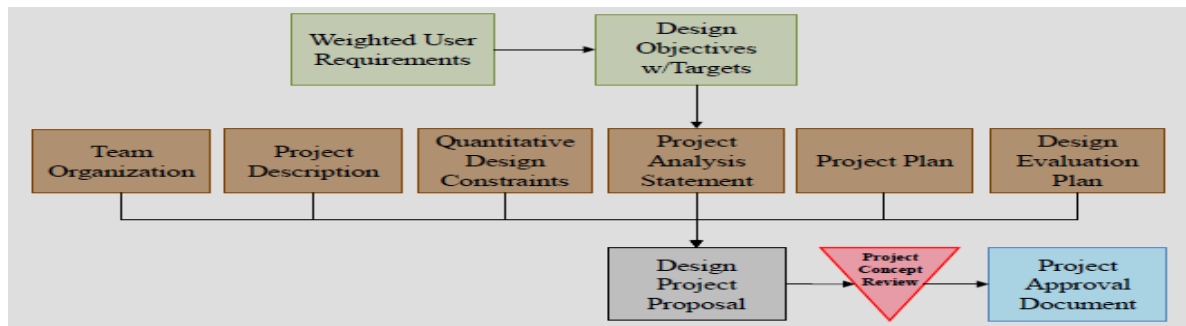
NASA	Capstone Design	Lumsdaine
<b>Pre-Phase A</b>		
Concept Studies	Design Problem Analysis	Design Problem Analysis
<b>Phase A</b>		
Concept and Technology Development	System Level Conceptual Design	Conceptual (System) Level Design
<b>Phase B</b>		
Preliminary Design and Technology Completion	Parameter Level Design	Parameter Level Design
<b>Phase C</b>		
Final Design and Fabrication	Optimized Parameter Design	Optimized Parameter Design
<b>Phase D</b>		
Assembly, Integration, and Test Launch	Fabrication, Assembly, and Testing	-

Fuente: GERSHENSON, John K, PhD. Pre-fase A.[n.d].NASA ESMD Capstone Design.The Design process\_NASA. Pág 3.

- Pre-fase A

Esta apartado tiene como finalidad poner para comprensión el alcance que tiene el proyecto, se realiza un análisis completo del mismo estableciendo los parámetros generales, para poder realizarlo se sigue una serie de procedimientos como lo son: organización de los equipos de trabajo, descripción del proyecto, limitantes del proyecto, descripción de las fases, esto será planificado y posteriormente será evaluado.

### Ilustración 4. Pre-fase A



Fuente: GERSHENSON, John K, PhD. Pre-fase A.[n.d].NASA ESMD Capstone Design.The Design process\_NASA. Pág 11.

- **Requerimientos del usuario:** Al realizar un análisis de cuáles son las necesidades de las personas de los sectores rurales y analizando cuales pueden ser los factores relevantes se puede tomar como principales características:

**Tabla 1. Requerimientos del usuario.**

Requerimientos del usuario	Ponderación (0-10)
Comodidad	10
Estética	4
Facilidad operacional	5
Tamaño	1
Confiabilidad	9
Larga vida útil	3
Ajustable	2
Repuestos económicos	7
Fácil mantenimiento	6
Económico	8

- **Requerimientos ingenieriles:** Con el fin de que el diseño sea asertivo y tenga un mayor campo de funcionamiento se plantean los siguientes criterios desde el punto de vista del diseñador.

**Tabla 2. Requerimientos ingenieriles.**

Requerimientos ingenieriles
Costo
Mantenimiento
Materiales
Seguridad
Ergonomía
Buena estructura
Carga soportada
Capacidad de generación.

**Tabla 3. Matriz de relacionamiento.**

REQUERIMIENTOS DE DISEÑO \ REQUERIMIENTOS DE USUARIO	Costo	Mantenimiento	Materiales	Seguridad	Ergonomía	Buena estructura	Carga soportada	Capacidad de generación
Comodidad	3	3	3	1	9	1	1	3
confiabilidad	3	3	3	9	3	9	3	3
Economico	9	3	3	3	3	3	1	3
Repuestos economicos	9	1	3	3	0	1	1	9
Facil mantenimiento	0	9	3	3	3	1	1	3
Facilidad operacional	0	3	1	3	3	1	1	3
Estetica	1	1	3	1	3	3	1	1
Larga vida util	3	9	9	3	3	3	3	9
Ajustable	1	1	3	3	3	3	3	1
Tamaño	3	3	1	9	1	9	9	3

**Tabla 4. Escala de evaluación.**

Escala de relacion	Significado
0	Malo
1	Regular
3	Bueno
9	Alto

**Tabla 5. Requerimientos ponderados.**

REQUERIMIENTOS DE DISEÑO REQUERIMIENTOS DE USUARIO	Valor requerimiento	costo	S1	Mantenimiento	S2	Materiales	S3	Seguridad	S4	ergonomia	S5	Buena estructura	S5	Carga soportada	S6	Capacidad de generacion	S7
Comodidad	10	3	30	3	30	3	30	1	10	9	90	1	10	1	10	3	30
confiabilidad	9	3	27	3	27	3	27	9	81	3	27	9	81	3	27	3	27
Economico	8	9	72	3	24	3	24	3	24	3	24	3	24	1	8	3	24
Repuestos economicos	7	9	63	1	7	3	21	3	21	0	0	1	7	1	7	9	63
Facil mantenimiento	6	0	0	9	54	3	18	3	18	3	18	1	6	1	6	3	18
Facilidad operacional	5	0	0	3	15	1	5	3	15	3	15	1	5	1	5	3	15
Estetica	4	1	4	1	4	3	12	1	4	3	12	3	12	1	4	1	4
Larga vida util	3	3	9	9	27	9	27	3	9	3	9	3	9	3	9	9	27
Ajustable	2	1	2	1	2	3	6	3	6	3	6	3	6	3	6	1	2
Tamaño	1	3	3	3	3	1	1	9	9	1	9	9	9	9	9	3	3
<b>TOTAL</b>			<b>210</b>		<b>193</b>		<b>171</b>		<b>197</b>		<b>202</b>		<b>169</b>		<b>91</b>		<b>213</b>

Los parametros de diseño que resultaron de la matriz QFD, se presentan a continuación con sus respectivos valores:

- Capacidad de generacion; S7=213
- Costo; S1=210
- Ergonomia; S5=202
- Seguridad; S4=197

En el anexo A se muestra la matriz de calidad siguiendo los lineamientos aportados por la metodologia CAPSTONE.

- Constantes de diseño: Al realizar un balance entre los requerimientos que se proponen por parte del usuario y los que el diseñador considera adecuados, con esto se puede establecer cuáles serían los objetivos del proyecto y que rangos son aceptables para que el sistema sea funcional.

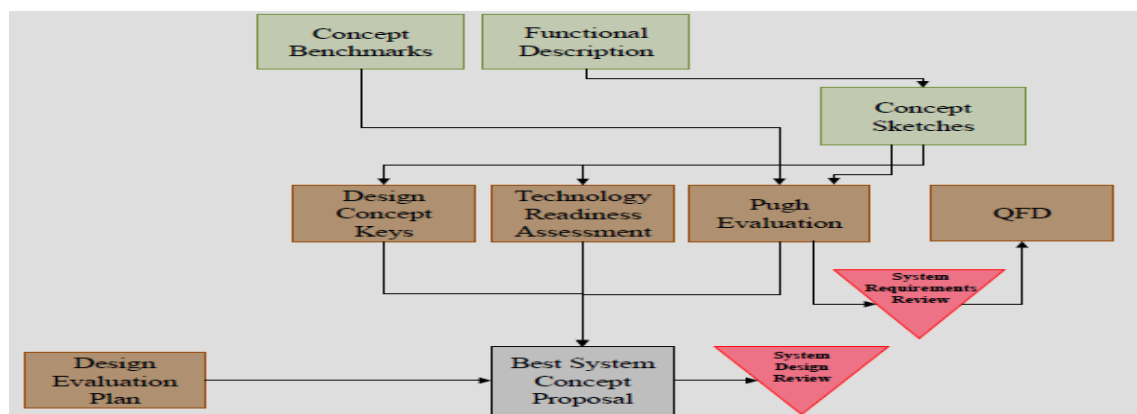
**Tabla 6. Constantes de diseño.**

Constantes	Metodo de medicion	Objetivo	Limite aceptable
Inclinacion respaldo silla	Inclinacion entre espaldar y asiento (grados)	95°-105°	93°-107°
Vida util	Tiempo operacional	4 años	>2 años
Resistencia	Peso soportado (kg)	150 kg	>90 kg
Energia generada	Watts generados (W)	60W	>45W

- Fase A

Para esta fase se espera seleccionar la propuesta de diseño que mejor se acomode con los requerimientos. Se analiza a partir de los conceptos de diseño sobre los cuales se va a partir, se realiza la evaluación de alternativas por medio de la matriz pugh, esto con el objetivo de encontrar la mejor alternativa que se acomode a los requerimientos del usuario así como a los del diseñador, se establece evaluación basado en puntos positivos y negativos estos a su vez ayudan a reforzar el diseño en cuanto a cosas por analizar.

**Ilustración 5. Fase A**

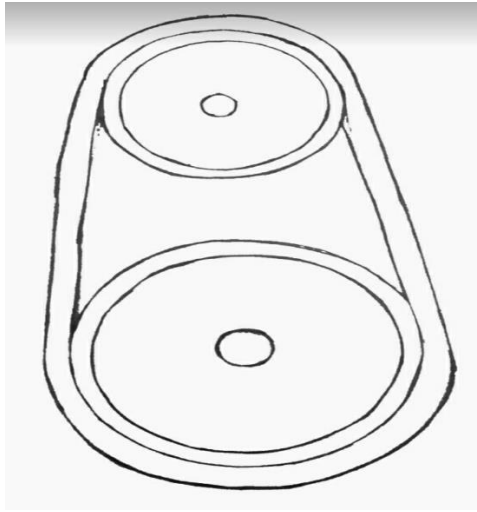


Fuente: GERSHENSON, John K, PhD. Fase A.[n.d].NASA ESMD Capstone Design.The Design process\_NASA. Pág 14.

- Descripción Funcional. La tarea que debe desempeñar el sistema que se va a diseñar será el proceso de generación de energía por medio del pedaleo combinado con el uso del tren superior así como del tren inferior del cuerpo, con esto se realizara el análisis comparativo de los siguientes modelos que pueden desempeñar la función con ciertas variaciones en su diseño, también se analiza cómo se realiza la transmisión de la potencia y el aumento de la velocidad angular.
- Planteamiento de alternativas. Se procede ahora a plantear los diseños conceptuales tanto del sistema transmisión de potencia como del sistema en general y como este está pensado.
- Diseño conceptual del sistema de transmisión primera ronda. En esta fase se realizan los diseños conceptuales, cada uno de estos se describe formas de transmisión de la potencia.

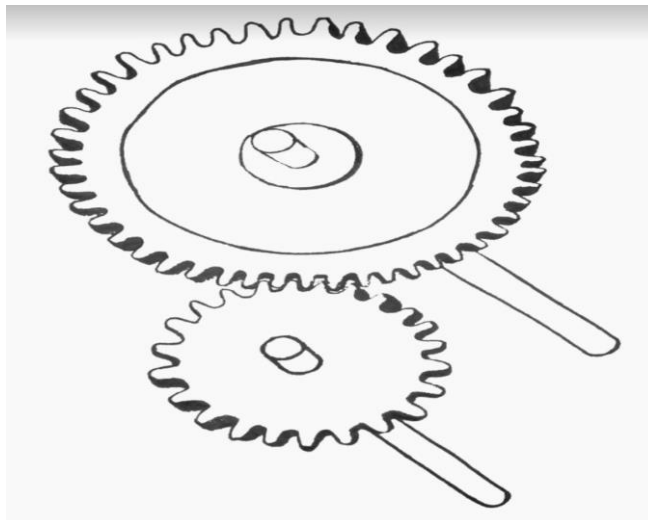
Rueda de Inercia. El uso de un multiplicador de velocidad que para el aumento de la velocidad que genera una persona en el pedaleo ya sea con sus manos o con sus piernas, este aumento se realizara por medio de un volante de inercia, el cual una vez se inicie el movimiento gracias a su peso conseguirá una gran velocidad haciendo que la que se conecte a ella de menor tamaño gire a gran velocidad pudiendo alcanzar la velocidad deseada, este sistema se compone del sistema de pedaleo que va unido al volante de inercia por medio de correas, a su vez el volante se une a una rueda más pequeña que es la de salida de alta velocidad.

### Ilustración 6. Rueda de inercia



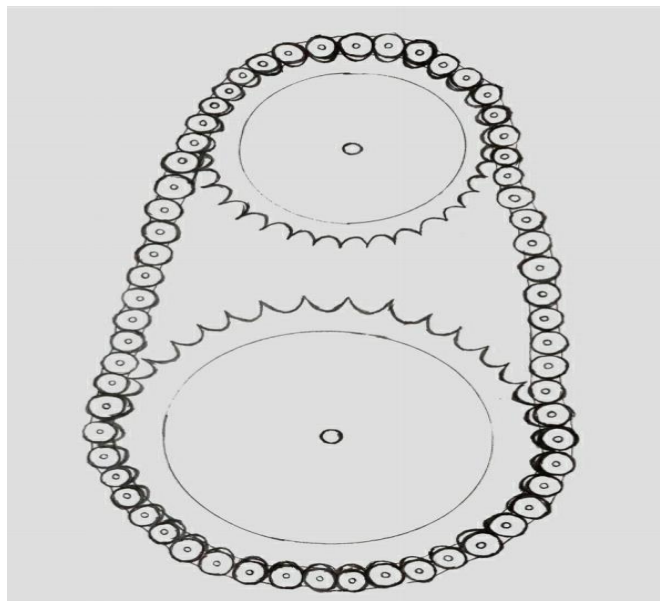
Engranajes. Se usará un multiplicador de velocidad por medio de engranajes que se conectan con el fin de aumentar la velocidad que es generada por el usuario, esto se realiza a través de la combinación de engranajes de gran número de dientes que se conectan a engranajes de pequeño número de dientes. En esta configuración el espacio usado será bastante bajo además de la posibilidad de depositar el sistema en un espacio cerrado, con esto se aumenta la seguridad en su uso.

### Ilustración 7. Engranajes



Cadenas. Emplear un multiplicador de velocidad por medio de cadenas que se conectan a engranajes para que se llegue a la velocidad deseada. Este tendrá una forma similar a las bicicletas y es posible conseguir cadenas fácilmente en el mercado, se aumenta el espacio que debe ser dispuesto en el diseño, se usan engranajes que se conectan mediante las cadenas las cuales cumplen la función de transmitir la fuerza, se debe realizar una configuración que aumente la velocidad de marcha.

### **Ilustración 8. Cadenas**



**Tabla 7. Claves de la primera ronda del diseño conceptual del sistema de transmisión.**

Conceptos	Descripcion
<b>Rueda de Inercia</b>	Multiplicador de velocidad por medio de una rueda volante para generar el aumento de la velocidad angular, la transmision se realizaria por medio de correas.
<b>Engranajes</b>	Multiplicador de velocidad por medio de engranajes conectados entre ellos para aumento de la velocidad angular generada.
<b>Cadenas</b>	Multiplicador de velocidad por engranajes conectados con cadenas.

- Evaluacion de alternativas de la primera ronda(pugh evaluation).Esta herramienta consiste en evaluar un conjunto de opciones por medio de criterios que son comunes entre ellas y se establecen puntuaciones por medio de +,- y S. Los cuales indican cual es el comportamiento en caso de ser apropiado la evaluacion sera con un +, en caso de no serlo – y de ser neutral se evaluara con una S.

**Tabla 8. Matriz pugh primera ronda Transmision.**

Criterio	Rueda de Inercia	Engranajes	Cadenas
<b>Eficiencia</b>	+	+	+
<b>Fabricación</b>	-	+	+
<b>Piezas estandar</b>	+	+	-
<b>Mantenimiento</b>	+	+	-
<b>Tamaño</b>	-	+	-
<b>Resistente</b>	+	+	+
<b>Confiabilidad</b>	-	+	+
<b>Ruido</b>	+	-	-
<b>Total positivos</b>	5	7	4
<b>Total negativos</b>	3	1	4

Al haber analizado las opciones pertinentes por medio de la matriz Pugh se logra evidenciar que los engranajes poseen mayores beneficios, debido a que posee un mayor número de puntos positivos (7), sus claras ventajas son su pequeño tamaño y su eficiencia, lo que facilita su transporte y el espacio requerido.

### Ilustración 9. Render caja de engranajes



- Diseño conceptual del sistema de Posicionamiento primera ronda. En esta fase se realizan los diseños conceptuales de los distintos tipos de distribución.

Concepto A. Uso de un diseño semejante a una bicicleta estática con adición del pedaleo manual. Esta alternativa nace al observar la forma en que esta construidas las bicicletas que sirven como medios de transporte, este tendría mayor capacidad de generar energía debido a que recibe ayuda del peso de la pierna por lo cual la fuerza realizada será mayor, el movimiento es el mismo que el realizado en una bicicleta estática, solo incluyendo el movimiento extra que se realiza mediante los miembros superiores, tendría sistema de caja multiplicadora de velocidad para así aumentar la velocidad angular y por consiguiente la generación.

Esta alternativa sería ideal en caso de diseñarse para generación máxima de energía, sin embargo, presenta algunas deficiencias en cuanto a comodidad ya que

las personas de los sectores rurales en su día laboral realizan actividades fuertes, por lo cual se debe tener una especial atención en su comodidad, también la realización de ambas tareas implicaría un riesgo ya que no se cuenta con un apoyo adecuado.

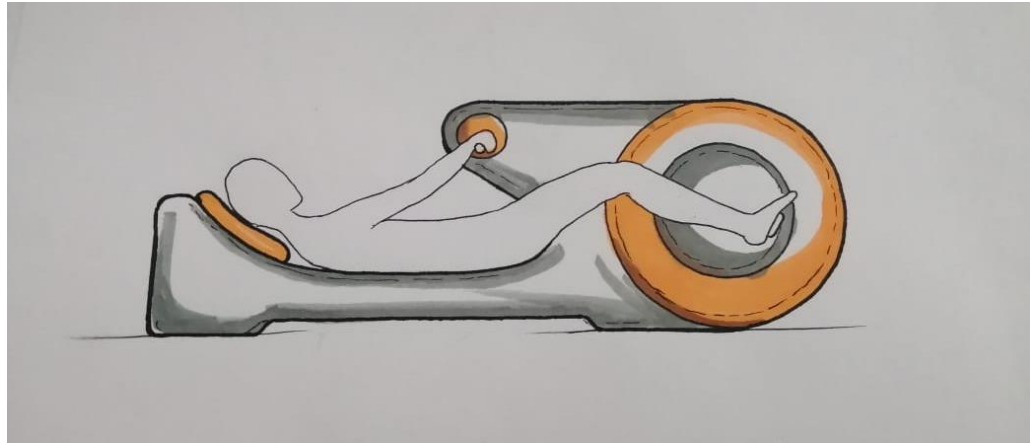
#### **Ilustración 10. Concepto A**



Concepto B. Se usara un diseño semejante a una handbike agregando la alternativa de pedaleo con las piernas. En esta concepción de sistema se propone como observación de el gran confort que presentan las bicicletas para las personas discapacitadas que funcionan únicamente de forma manual, esta alternativa permite un gran confort al momento de la realización de la actividad, solamente agregando la posibilidad de pedaleo como el que normalmente se realizaría en una bicicleta. Esta clase de sistema seria el idóneo para condiciones donde la energía generada no fuera una variable a considerar sino que fuera un valor agregado, ya que la clase

de movimiento de pedaleo en esta se realizaría sin apoyo de la fuerza de la gravedad, lo que haría que la capacidad de generación se redujera.

### **Ilustración 11. Concepto B**



Concepto C. Emplear un diseño bicicleta con adición de pedaleo manual también posibilidad de inclinación hacia atrás para aumentar la comodidad sin ser ineficiente. Con esta manera se asegura un posicionamiento que además de generar confort en el usuario también permita una generación aceptable de energía, además por el hecho de encontrarse recostado sobre una superficie se puede realizar tranquilamente el pedaleo manual sin lugar a ocasionar algún tipo de accidente, esto en busca de cuidar la seguridad y el confort del usuario también presenta una caja multiplicadora que aumenta la velocidad de rotación que será entregada en el alternador.

Esta alternativa complementa la posibilidad de pedaleo combinado con una producción de energía aceptable, sin representar un esfuerzo excesivo para el usuario de esta ya que el mismo en cuestión por su ubicación geográfica realiza trabajos fuertes en lo corrido de la semana así que el uso de la maquina no debe de representar una carga excesiva a su cuerpo, y debe estar en capacidad de realizarlo sin esforzarse demasiado.

## Ilustración 12. Concepto C

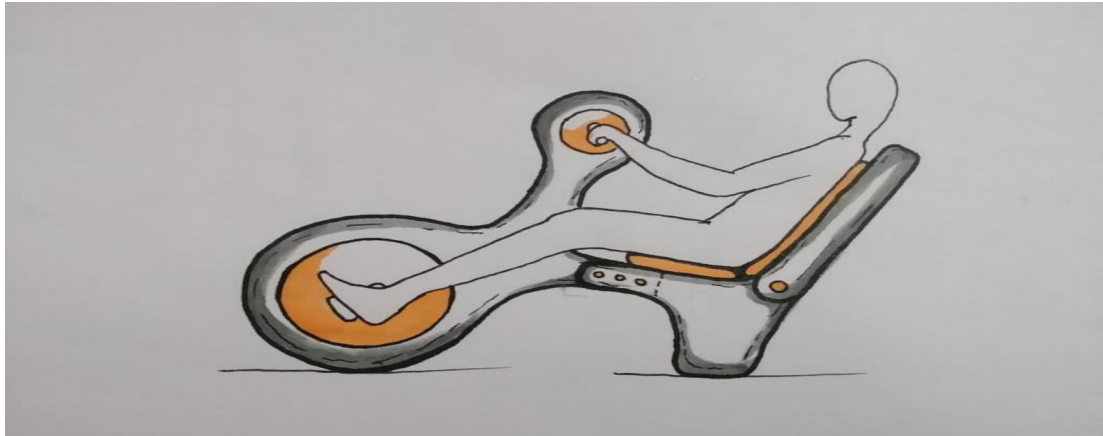


Tabla 9. Claves de la primera ronda del diseño conceptual del sistema de posicionamiento.

Conceptos	Descripción
<b>Concepto A</b>	Por medio del uso de un diseño semejante a una bicicleta estática con adición del pedaleo manual se propone generar energía de manera simultánea con pies y manos en una posición similar a la de montar en bicicleta.
<b>Concepto B</b>	Por medio de un diseño semejante a una handbike agregando la alternativa de pedaleo con las piernas se logra la comodidad del usuario con su cuerpo a un ángulo de casi 180°.
<b>Concepto C</b>	Con el uso un diseño semejante a una bicicleta con adición de pedaleo manual también posibilidad de inclinación hacia atrás para aumentar la comodidad sin ser ineficiente.

- Evaluación de alternativas de la primera ronda (pugh evaluation). Esta herramienta consiste en evaluar un conjunto de opciones por medio de criterios que son comunes entre ellas y se establecen puntuaciones por medio de +, - y

S. Los cuales indican cual es el comportamiento en caso de ser apropiado la evaluacion sera con un +, en caso de no serlo – y de ser neutral se evaluara con una S. En este proceso se encontrara cual de las opciones de posicionamiento es mas conveniente para el sistema.

**Tabla 10. Matriz pugh primera ronda posicionamiento.**

<b>Criterio</b>	<b>Concepto A</b>	<b>Concepto B</b>	<b>Concepto C</b>
<b>Capacidad de generación</b>	+	-	+
<b>Costo</b>	+	+	+
<b>Ergonomía</b>	-	-	-
<b>Seguridad</b>	-	+	+
<b>Mantenimiento</b>	+	+	+
<b>Comodidad</b>	-	+	+
<b>Piezas estandar</b>	+	-	-
<b>Total positivos</b>	4	4	5
<b>Total negativos</b>	3	3	2

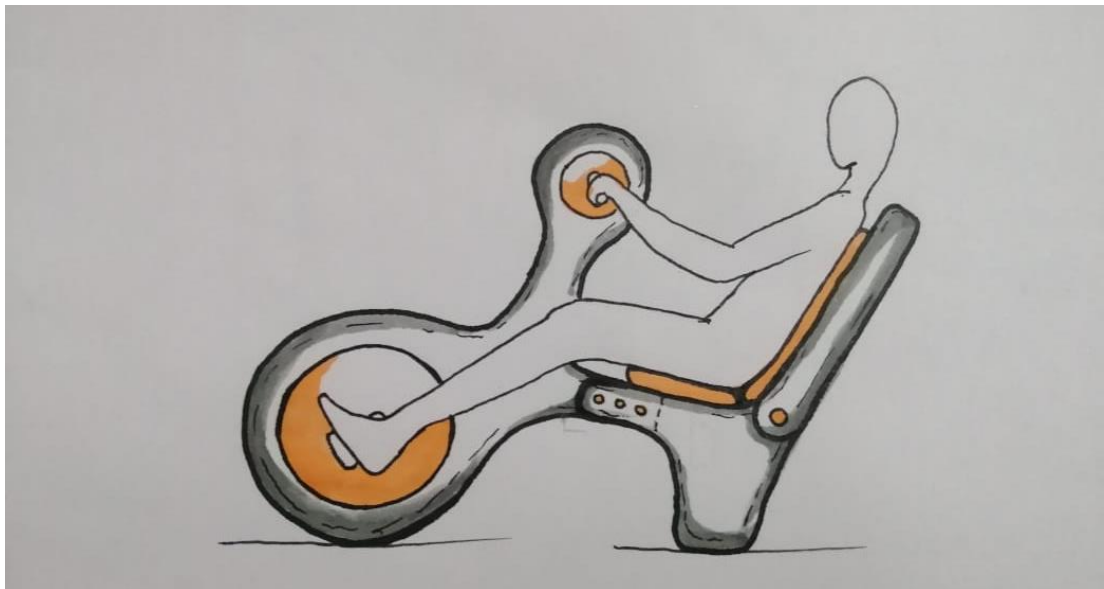
El diseño que presenta el mejor resultado de este análisis es el de un sistema de concepto B que posea una inclinación con el fin de aumentar la comodidad de aquel que la usa, esta posee 5 puntos positivos siendo sus mayores ventajas la comodidad del usuario y la seguridad que esta representa, además teniendo una buena capacidad de generación hacen que sea muy atractivo, sin embargo la capacidad de ajustarse a distintas personas aún sigue siendo un factor a analizar.

Se lleva a cabo una segunda ronda de evaluación pugh en la cual se reforzara los puntos débiles de la alternativa ganadora o se plantearan nuevas alternativas para el diseño del sistema y de esta manera tener un criterio más determinante en la selección del prototipo final.

- Evaluación de alternativas de la segunda ronda(pugh evaluation). Tomando en cuenta los resultados que se obtuvieron en la ronda anterior se plantean diseños conceptuales.

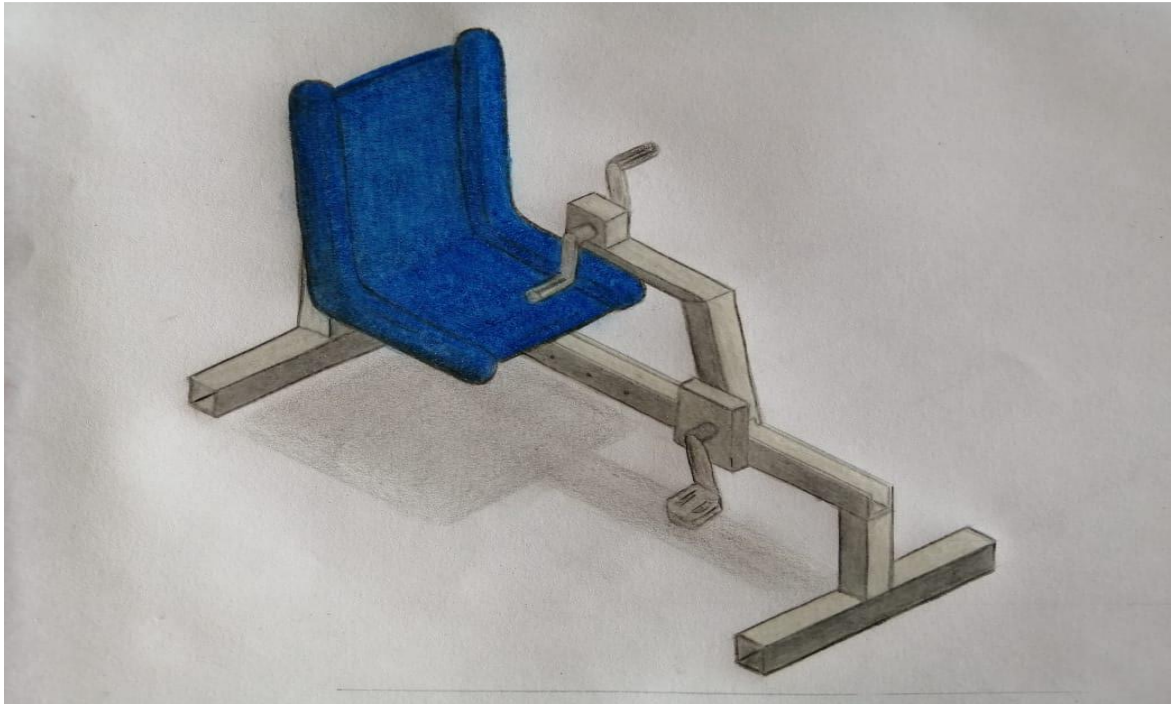
Concepto D. Se va a realizar con piezas estándar en el mercado, las cuales harán que en caso de presentarse una avería la pieza pueda ser reemplazada o pedida de forma ágil. Algunos componentes como los engranajes también pueden ser encontrados fácilmente en el mercado por lo cual una marca comercial podría hacer que su sustitución que no es nada frecuente sea sencilla.

### **Ilustración 13. Concepto D (bis ilustración 10)**



Concepto E. Este sistema es pensado con el fin de que una mayor población pueda hacer uso del sistema además de la posibilidad de cambiar la inclinación de la silla según el deseo del usuario, además para personas de mayor tamaño las cuales poseen morfologías mayores se puede ajustar que la distancia hasta los pedales cambie en ciertos intervalos, también al usar piezas estándar el costo disminuye ya que su fabricación no se debe de realizar y solo deben ser adquiridos en el mercado.

**Ilustración 14. Concepto E**



**Tabla 11. Claves de la segunda ronda del diseño conceptual del sistema de posicionamiento.**

Conceptos	Descripción
<b>Concepto D</b>	Por medio del uso de piezas estándar encontradas en el mercado es posible una reducción del costo de fabricación además de facilidad de mantenimiento del mismo.
<b>Concepto E</b>	Con la adición de un variador de posición controlada por un pasador se puede hacer más ergonómico el diseño permitiendo que se ajuste a un mayor número de personas, además con el uso de piezas estándar se consigue un menor costo de producción con un menor costo en mantenimiento.

**Tabla 12. Matriz pugh primera ronda posicionamiento.**

<b>Criterio</b>	<b>Concepto C</b>	<b>Concepto D</b>	<b>Concepto E</b>
<b>Capacidad de generación</b>	+	+	+
<b>Costo</b>	+	+	+
<b>Ergonomía</b>	-	-	+
<b>Seguridad</b>	+	+	+
<b>Mantenimiento</b>	+	+	+
<b>Comodidad</b>	+	+	+
<b>Piezas estandar</b>	-	+	+
<b>Total positivos</b>	5	6	7
<b>Total negativos</b>	2	1	0

El diseño conceptual E es el claro ganador del pugh evaluation el cual muestra una ventaja muy clara sobre las otras alternativas, este muestra un sistema que además de poder ajustar la inclinación del espaldar además se puede realizar ajustes establecidos para distintas personas haciendo que personas de diferentes tamaños lo puedan usar, se implementa con piezas estándar de fácil mantenimiento que sean accesibles por parte del usuario. Se hace uso de materiales que son comunes en la industria, aquel que cumple de forma más completa con la mayoría de los requerimientos es la que salió como solución. Por ende se toma la decisión de adoptar este modelo para el sistema que se va a realizar.

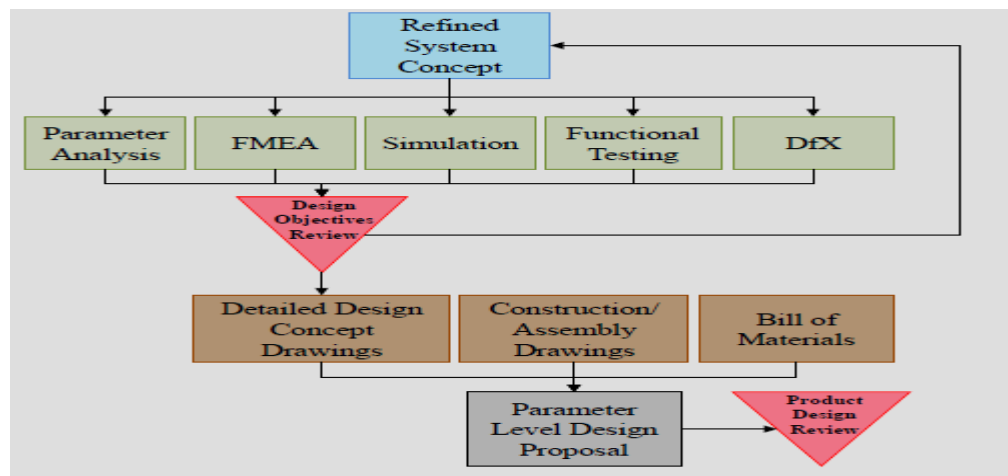
- Despliegue de la función calidad(Quality Function Deployment QFD):Posterior a la selección de los diseños conceptuales para el sistema de transmisión y de posicionamiento, los cuales son los que se adhieren mejor a los objetivos del proyecto, esta matriz tiene como objetivo general centrar el producto en la satisfacción de los requerimientos del cliente y del diseñador.

El principal objetivo de este metodo se basa en definir las necesidades y deseos del cliente que hagan que el sistema tenga la mejor calidad posible. Muestra tambien si la relacion es directa o inversamente proporcional entre las caracteristicas.

- Fase B

En esta parte se procede a realizar el perfeccionamiento de los parámetros que va a poseer el diseño: Se realiza el proceso matemático de cálculo, hasta llegar al diseño de las piezas y sus respectivos planos, y además de ello se analiza la construcción y el proceso de ensamble de este.

**Ilustración 15. Fase B.**



Fuente: GERSHENSON, John K, PhD. Fase B.[n.d].NASA ESMD Capstone Design.The Design process\_NASA. Pag 17.

**6.1.1 Diseño en detalle.** Para el diseño de este sistema se busca obtener resistencia elevada, que los materiales sean fáciles de encontrar en el mercado colombiano y que sean fáciles de manufacturar. Los materiales metálicos cumplen estos requerimientos, además en la industria existen algunos que son usados comúnmente para un gran número de diseños:

Acero inoxidable: este es un tipo de acero bastante común en la industria especialmente en la alimenticia, presenta unas buenas capacidades de resistencia mecánica y a la corrosión, sus defectos más notorios son su costo que es relativamente elevado y su peso que es alto.

Acero común: es el acero con el que se construyen la mayoría de piezas de maquinado, también es uno de los que más comúnmente se encuentra en el mercado, su costo es menor que el de otros materiales y presenta unas buenas características.

Aluminio: es un material muy común también en el mercado, entre sus beneficios están su bajo peso y resistencia a la corrosión, también presenta una resistencia considerable tomando en cuenta su peso.

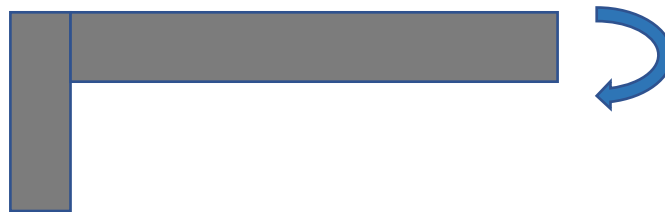
**6.1.1.1 Análisis de parámetros.** La estructura debe ser diseñada para tener una gran resistencia y soportar una carga de máximo 150 kg, esto tomando en cuenta que el peso promedio en Colombia se encuentra por aproximadamente la mitad de ese valor, sin embargo con miras a la inclusión de personas de mayores tallas y de suplir la inercia que puede aplicar una persona al sentarse en la misma este es un valor acertado de carga.

Dimensionamiento de los elementos del sistema. Se espera que el sistema tenga una resistencia bastante elevada, ya que es un dispositivo que debe tener una gran confiabilidad. Para el dimensionamiento se va a proceder con un análisis de resistencia de materiales en las condiciones de máxima carga y agregando un factor de seguridad en las dimensiones escogidas.

**6.1.1.2 cálculos basados en resistencia de materiales.** Para el diseño del asiento de la silla se analiza el momento más crítico de la silla es cuando el usuario se baja del sistema y el peso se concentra en la parte más alejada de donde la silla está

apoyada, el ancho de la silla se propone en base a que la medida promedio de la cadera de mujeres bogotanas es de 38,4 cm<sup>24</sup>, este valor es muy conservador para el caso de diseño dado la medida varia con la contextura de la persona, por tanto un valor de 73 cm puede ser tomado con el fin de poder alcanzar personas de mayores proporciones. Para el largo del asiento se toma una medida de 40 cm que es menor a la distancia de la nalga hasta el poplíteo de 47,5 cm<sup>25</sup>, lo que hace que no estorbe en el movimiento. Con esto en mente se calcula el ancho que debería de tener la silla con el fin de soportar la carga a la distancia dada.

**Ilustración 14. Momento sobre el asiento de la silla.**



Se realiza el cálculo de la flexión que puede soportar el acero que es el material con el que más comúnmente se trabaja, con esto se encuentra el valor mínimo que debe tener la placa de acero.

$$I = \frac{1}{12} * b * h^3$$

$$I = \frac{1}{12} * 0,35 * h^3$$

$$\sigma = \frac{M * c}{I}$$


<sup>24</sup> PIÑEDA GERALDO, Aldo. Ergonomía y antropometría aplicada con criterios ergonómicos en puestos de trabajo en un grupo de trabajadoras del subsector de autopartes en Bogotá D.C. Colombia. Bogotá: *Revista Republicana*, 2007. p. 147.

<sup>25</sup> Ibid.

$$c = \frac{1}{2} * h$$

El acero posee un valor de esfuerzo de compresión permisible que varía según el tipo del mismo sin embargo el valor más común con el que se trabaja es de 165 Mpa. Esto da como resultado que el espesor de la lámina es de 7,315 mm sin embargo ya pueden generarse cargas excesivas por inercia u otros factores por lo tanto para mayor seguridad se multiplica este espesor por 1,5 lo cual da como resultado un espesor de 12 mm, en la industria colombiana el ancho normalizado superior a este valor es de 12 mm por lo tanto se selecciona una lámina de este grosor, estas laminas son producidas por la empresa colombiana la campana, la cual presenta una amplia gama de posibilidades.

### Ilustración 16. Láminas de acero de distintos espesores


**la campana**  
 servicios de acero

**TABLA DE PESOS Y ESPESORES PARA LAMINAS DE ACERO**

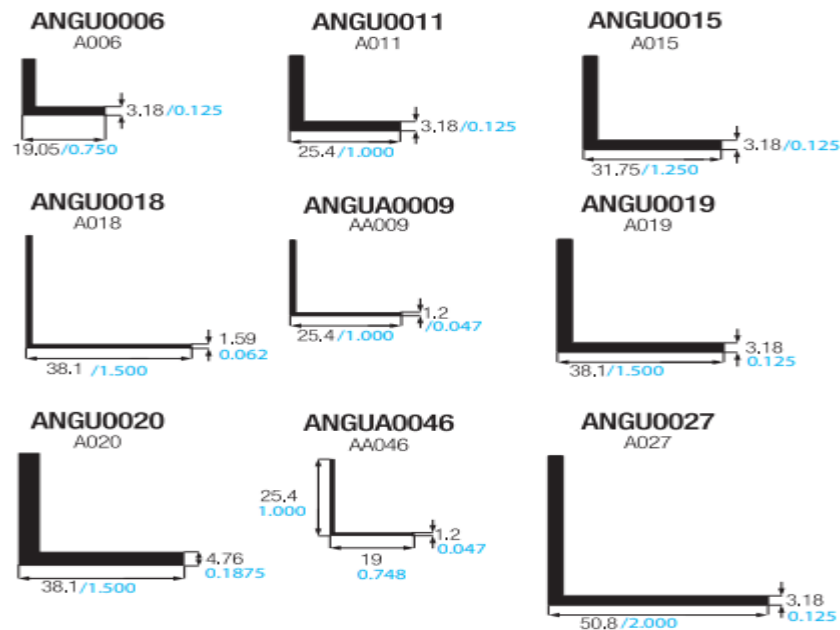
Producto	Espesor			Peso/Kg (Formato Comercial)							
	mm	Calibre	Pulgadas	1000 x 2000mm	1200 x 2400mm	1220 x 2440mm	1000 x 6000mm	1200 x 6000mm	1830 x 6096mm	2463 x 6096mm	
TEZ	0.17mm	28	-	-	-	-	-	-	-	-	
TEZ	0.17mm	28	-	-	-	-	-	-	-	-	
LAF/GAL	0.30mm	30	-	-	-	-	-	-	-	-	
LAF/GAL	0.33mm	29	-	-	-	-	-	-	-	-	
LAF/GAL	0.38mm	28	-	-	-	-	-	-	-	-	
GAF/GAL	0.40mm	28	-	6.23Kg	9.04Kg	9.34Kg	-	-	-	-	
LAF/GAL	0.43mm	26	-	6.75Kg	9.72Kg	10.68Kg	-	-	-	-	
LAF/GAL	0.45mm	26	-	7.07Kg	10.17Kg	10.51Kg	-	-	-	-	
LAF/GAL	0.55mm	24	-	8.64Kg	12.48Kg	12.83Kg	-	-	-	-	
GAF/GAL	0.63mm	24	-	9.23Kg	13.29Kg	13.80Kg	-	-	-	-	
LAF/GAL	0.70mm	23	-	11.01Kg	15.82Kg	16.62Kg	-	-	-	-	
LAF/GAL	0.75mm	22	-	11.82Kg	16.95Kg	17.65Kg	-	-	-	-	
LAF/GAL	0.80mm	20	-	12.56Kg	18.08Kg	18.89Kg	-	-	-	-	
LAF/GAL	0.85mm	20	-	13.50Kg	19.21Kg	20.07Kg	-	-	-	-	
LAF/GAL	0.90mm	20	-	14.13Kg	20.34Kg	21.03Kg	-	-	-	-	
LAF/GAL	1.00mm	19	-	17.70Kg	22.60Kg	23.36Kg	-	-	-	-	
LAF/GAL	1.10mm	18	-	17.27Kg	24.86Kg	25.82Kg	-	-	-	-	
LAF/GAL	1.20mm	18	-	18.05Kg	25.99Kg	27.08Kg	-	-	-	-	
LAF/GAL	1.20mm	18	-	18.67Kg	27.13Kg	28.04Kg	-	-	-	-	
LAF/GAL	1.40mm	16	-	21.98Kg	31.65Kg	32.71Kg	-	-	-	-	
LAF/GAL	1.45mm	16	-	22.76Kg	32.78Kg	33.88Kg	-	-	-	-	
LAF/GAL/LAC	1.50mm	16	-	23.35Kg	33.91Kg	34.90Kg	-	-	-	-	
LAF/GAL/LAC	1.80mm	14	-	28.26Kg	40.69Kg	42.06Kg	-	-	-	-	
LAF/GAL	1.83mm	14	-	29.04Kg	41.82Kg	43.23Kg	-	-	-	-	
LAF/GAL/LAC	1.90mm	14	-	29.30Kg	42.95Kg	44.38Kg	-	-	-	-	
GAL/LAC	2.00mm	13	-	31.50Kg	47.62Kg	48.73Kg	94.20Kg	113.04Kg	-	-	
LAC	2.30mm	-	-	36.11Kg	51.99Kg	53.74Kg	103.33Kg	123.99Kg	-	-	
GAL/LAC/LAD/LAL	2.30mm	12	-	39.78Kg	57.20Kg	58.81Kg	117.73Kg	141.30Kg	-	-	
GAL/LAC/LAD/LAL	3.00mm	11	3/8"	47.67Kg	68.43Kg	70.10Kg	141.59Kg	171.43Kg	-	-	
LAC/LAD	4.00mm	8	-	63.00Kg	90.34Kg	93.47Kg	193.57Kg	226.00Kg	-	-	
LAC/LAD/LAL/FLA	4.50mm	7	3/16"	71.88Kg	103.43Kg	105.13Kg	213.47Kg	255.03Kg	404.8Kg	-	
FLA	4.75mm	7	3/16"	74.37Kg	107.38Kg	110.99Kg	223.72Kg	268.47Kg	438.3Kg	-	
LAC/LAD/LAL/FLA	6.00mm	3	1/4"	93.47Kg	136.88Kg	140.20Kg	289.55Kg	345.29Kg	537.4Kg	-	
FLA	6.35mm	3	1/4"	-	143.56Kg	148.38Kg	299.08Kg	355.90Kg	566.1Kg	-	
FLA	7.94mm	-	3/16"	-	179.50Kg	185.54Kg	-	448.76Kg	708.3Kg	-	
GAC/FLA	8.00mm	-	3/16"	-	182.40Kg	188.94Kg	-	454.30Kg	716.2Kg	884.7Kg	
LAC/FLA	9.00mm	-	3/8"	-	204.28Kg	210.31Kg	-	508.68Kg	760.6Kg	1050Kg	
LAC/FLA	9.50mm	-	3/8"	-	214.77Kg	221.99Kg	-	536.94Kg	827.2Kg	1110Kg	
LAC/FLA	12.00mm	-	1/2"	-	-	286Kg	-	672.24Kg	1058Kg	1400Kg	

Fuente: LA CAMPANA SERVICIOS DE ACERO. Tabla de peso y espesores para láminas de acero. p. 1. [Consultado:01 de septiembre de 2020]. Disponible en: [https://www.svcmscentral.com/SVsitefiles/lacampananew/contenido/doc/ab75ca\\_tabladespesos%20.pdf](https://www.svcmscentral.com/SVsitefiles/lacampananew/contenido/doc/ab75ca_tabladespesos%20.pdf)

Debido a que es posible comprar la lámina previamente realiza se recurre a realizar esto ya que el proceso de fabricación es más costoso y demorado que conseguir la pieza en el mercado.

Para sostener el asiento se usan perfiles de aluminio los cuales se aseguran por medio de tornillos (M5) y estas sostendrán el asiento. La empresa alumina con sede en Colombia ofrece perfiles de aluminio de estos es posible seleccionar uno que se ajuste al requerimiento:

### Ilustración 17. Ángulos ofrecidos por la empresa alumina



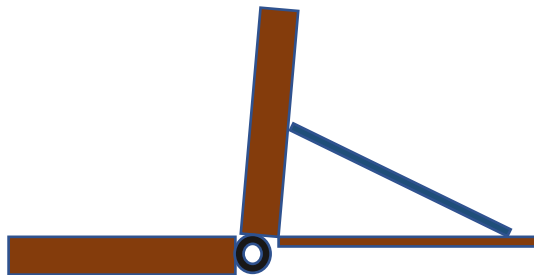
Fuente: ALUMINA: Perfiles comerciales. Platinas/Ángulos. Bogotá: alumina. p. 1. [Consultado: 05 de septiembre de 2020]. Disponible en: <https://www.aluestructuras.com/Perfileria001.pdf>

Con el fin de evitar la fricción entre el carril y la corredera se decidió trabajar con un polímero poliacetal, el cual reduce la misma y permite que se deslice la parte móvil. Esta pieza se fabrica a medida del comprador por una empresa. En el caso de la bisagra, esta se obtiene en el mercado y la construyen a medida del requerimiento.

- Diseño del espaldar:

Primero se procede a analizar el ajuste de la inclinación de la silla que se realizara mediante una varilla la cual mediante un ajuste previo al uso podrá acomodarse entre los ángulos de 95°, 100° y 105°, ya que los ángulos de confort en posición sentado están entre 90°-110°<sup>26</sup>. Estos valores se consideraron debido a que estas posiciones son cómodas para realizar las tareas y no permiten un decrecimiento del rendimiento.

#### **Ilustración 15. Disposición del espaldar de la silla.**

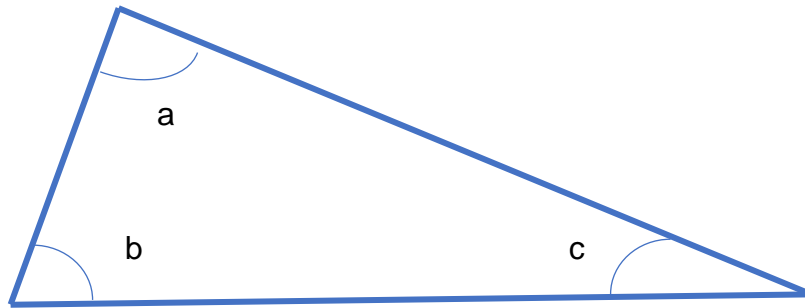


Para este fin se analizan los ángulos máximos de inclinación y con las medidas establecidas de que tan larga será el tubo con el que se varía el ángulo y a que distancia en el espaldar se pondrá el apoyo es posible calcular a que distancia horizontal se deben encontrar los apoyos para la variación.

---

<sup>26</sup> Diffrient, Tilley y Harman, 1981. Citado por BERNAL, Marta Lucía; DAZA BELTRÁN, Carolina y RONCÓN BECERRA, Ovidio. Variables que afectan el confort real y percibido en las sillas de pasajeros en vehículos de transporte terrestres de pasajeros. Variables dimensionales. Pontificia Universidad Javeriana: ResearchGate. 2015. p. 6. [Consultado: ]. ISBN: 334462736. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/304462736\\_Variables\\_que\\_afectan\\_el\\_confort\\_real\\_y\\_percibido\\_en\\_las\\_sillas\\_de\\_pasajeros\\_en\\_vehiculos\\_de\\_transporte\\_terrestre\\_de\\_pasajeros?enrichId](https://www.researchgate.net/publication/304462736_Variables_que_afectan_el_confort_real_y_percibido_en_las_sillas_de_pasajeros_en_vehiculos_de_transporte_terrestre_de_pasajeros?enrichId)

**Ilustración 18. Geometría del variador de posición.**



Se realiza un análisis por medio de ley del seno para encontrar las distancias necesarias para tal variación en la inclinación de la silla, primero de analiza una inclinación de 5°.

$$\frac{C}{\text{sen}(c)} = \frac{B}{\text{sen}(b)}$$

$$\frac{30}{\text{sen}(c)} = \frac{40}{\text{sen}(85)}$$

$$\frac{30 * \text{sen}(85)}{40} = \text{sen}(c)$$

$$c = 48,343^\circ$$

$$a + b + c = 180^\circ$$

$$a = 180^\circ - b - c$$

$$a = 180^\circ - 85^\circ - 48,343^\circ$$

$$a = 46,657^\circ$$

$$\frac{A}{\text{sen}(a)} = \frac{B}{\text{sen}(b)}$$

$$\frac{A}{\text{sen}(46,657)} = \frac{40}{\text{sen}(85)}$$

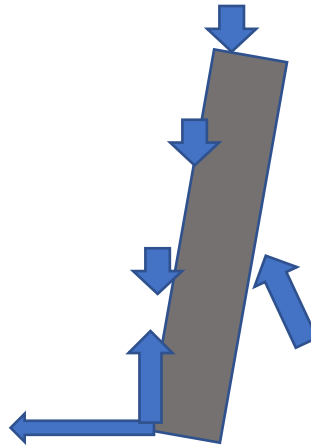
$$A = \frac{40 * \text{sen}(46,657)}{\text{sen}(85)}$$

$$A = 29,2014 \text{ cm}$$

Al repetir el proceso para las inclinaciones respectivas se encontró que las distancias horizontales tienen un valor de 32,17mm y 35,34 mm, el apoyo para la barra encargada de la variación tendrá esas separaciones para permitir el movimiento del espaldar.

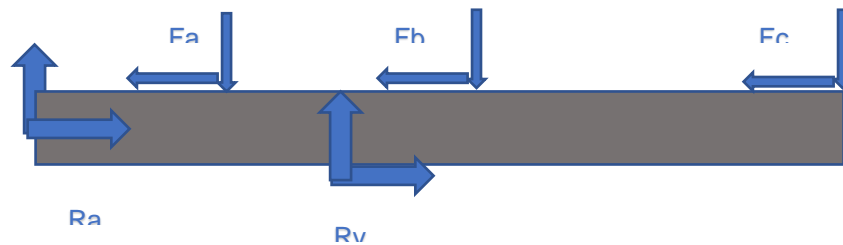
Para calcular la fuerza que recibe la barra primero debe realizarse el análisis de las fuerzas que recibe el espaldar de la silla, esto se realiza a través de un análisis estático seguido de un análisis basado en la resistencia de materiales, para este cálculo se tomó como caso extremo que se aplicara una carga de 150 kg que en este caso se supondrán distribuidas como 3 cargas puntuales ya que es bien sabido que el cuerpo no presenta una distribución uniforme, se propusieron 3 cargas simulando la concentración de peso en la parte de los hombros, estómago y glúteos.

**Ilustración 19.** Disposición del espaldar de la silla.



Con el fin de facilitar los cálculos se analizara el espaldar como una viga proponiendo un eje de referencia con la inclinación que se necesite en cada uno de los casos extremos de mayor y menor inclinación, sin embargo las cargas deben ser modificadas con las multiplicaciones respectivas:

**Ilustración 20.** Disposición del espaldar de la silla.



$$\Sigma_{MA} = 0$$

$$-F_{ay} * d_a - F_{by} * d_b + R_{vy} * d_v - F_{cy} * d_c = 0$$

$$\Sigma_{Fy} = 0$$

$$R_{ay} + R_{vy} - F_{ay} - F_{by} - F_{cy} = 0$$

$$\Sigma_{F_x} = 0$$

$$R_{ax} + R_{vx} - F_{ax} - F_{bx} - F_{cx} = 0$$

$$F_{ax} = F_a * \sin(5^\circ)$$

$$F_{bx} = F_b * \sin(5^\circ)$$

$$F_{cx} = F_c * \sin(5^\circ)$$

$$F_{ay} = F_a * \cos(5^\circ)$$

$$F_{by} = F_b * \cos(5^\circ)$$

$$F_{cy} = F_c * \cos(5^\circ)$$

$$R_{vx} = R_v * \cos(46,657)$$

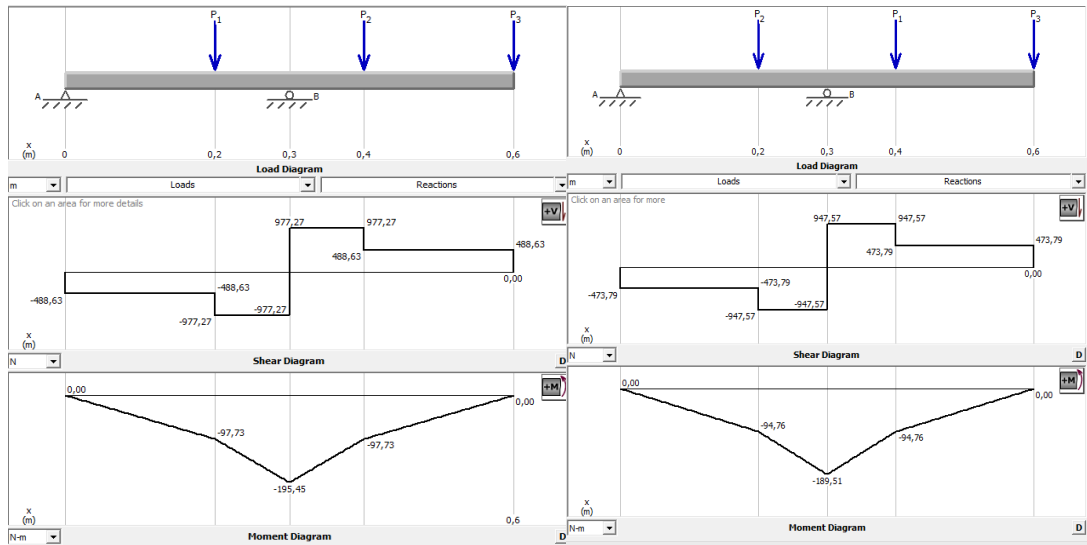
$$R_{vy} = R_v * \sin(46,657)$$

Con este cálculo se puede calcular las reacciones en ambos ejes que se generan durante la carga. Esto da como resultado que se generan en el eje X son 1716 N en dirección izquierda, 1844,631 N en dirección derecha, estas reacciones de la base del asiento y del apoyo para la barra respectivamente. En el caso del eje Y son 488,633 N hacia abajo y 1954,534 N hacia arriba en el mismo orden.

Este cálculo se realiza de la misma manera para el ángulo de inclinación de 15°. Esto da como resultado que se generan en el eje X son 776,85 N en dirección izquierda, 1157,71 N en dirección derecha, estas reacciones de la base del asiento

y del apoyo para la barra respectivamente. En el caso del eje Y son 473,787 N hacia abajo y 1895,146 N hacia arriba en el mismo orden. Con estos valores se procede a realizar el cálculo por esfuerzo cortante y de flexión, con esto se calcula el ancho con los valores de cortante y momento en cada situación con lo que se calcula el ancho por cortante y por flexión de estos se selecciona el mayor y a su vez el mayor de las variaciones de inclinación.

**Ilustración 21. Comparación de cortantes y momentos para inclinación de 5° y 15°.**



Se realiza el proceso de cálculo para saber el espesor necesario en ambos casos, se procede realizando el análisis por corte y flexión.

$$\sigma = \frac{M_{max}}{S}$$

$$S = \frac{1}{6} * b * h_{fle}^2$$

$$T = \frac{3}{2} * \frac{V_{max}}{A}$$

$$A = b * h$$

Al analizar cada uno de los espesores en los distintos casos se encuentra que el mayor espesor se produce por flexión cuando se tiene una inclinación de 5°, este tiene un valor de 3,112 mm, sin embargo por simetría, facilidad de compra y seguridad se opta por mantener el espesor del asiento con esto solo se toma la lámina que quedo después de cortar el asiento y se hace el espaldar, por practicidad se prefiere aprovechar el excedente del corte de la parte del asiento.

- Diseño de la barra de reclinación:

En el comercio es posible encontrar tubos de aluminio con medidas estándar definidas de diámetro interno de 17,3 mm y externo de 21,3 mm, con esto se puede usar codos para la figura deseada, además como son dos tubos los que sostienen el peso se divide el valor de la fuerza dirigida por el tubo en 2, se realiza un proceso de análisis para flexión:

$$\sigma_{per} = 165 * 10^6$$

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

$$Rv = 2687,539 [N]$$

$$A = \frac{\pi}{4} * (D_e^2 - D_i^2)$$

Esto da como resultado que el esfuerzo generado es de 22,162 Mpa mientras que el soportado 100 Mpa, este valor es usado académicamente, por lo tanto la barra

soporta la carga cómodamente, aunque el diámetro se puede reducir para facilidad por costos es mejor conseguir medidas comerciales como la que se va a usar.

- Cálculo del pasador.

Al tratarse de un producto que puede ser ajustado además de para la comodidad para funcionar con personas de distintos tamaños se propone una carrera interna que permita que el usuario acerque o aleje según sea su estructura morfológica. Para esto la carrera se puede interrumpir con un pasador el cual debe ser seleccionado y comprobarse que pueda soportar la carga, el pasador seleccionado se hace con un pasador din1444 de un diámetro de 30 mm y 110 mm de longitud ya que al ser normalizado puede ser fácilmente encontrado en el mercado.

**Ilustración 22. Comparación de cortantes y momentos para inclinación de 5° y 15°.**



Se calcula con la fuerza que se genera sobre el asiento que va unida al carril sumada con la fuerza que se transmite al apoyo del variador de inclinación, se calcula con los máximos valores encontrados de cada fuerza.

$$F_x = R_{vx} + R_{ax}$$

$$F_x = 1844,631 + 1716,381$$

$$F_x = 3561,012 [N]$$

Compresión sobre el pasador:

$$\sigma_{var} = \frac{Fx}{A_{var}}$$

$$A_{var} = \pi * r_{var}^2$$

$$r_{var} = 15 [mm]$$

$$\sigma_{var} = \frac{Fx}{A_{var}}$$

$$FS = \frac{\sigma_{realvar}}{\sigma_{var}}$$

Compresión en el soporte:

$$\sigma_{extremo} = \frac{Fx}{A_p}$$

$$A_p = A_1 + A_2$$

$$A_1 = t * (Ancho_{vig} - 2 * r_{var})$$

$$A_2 = t * (Ancho_{vig2} - 2 * r_{var})$$

$$Ancho_{vig} = 75,24 [mm]$$

$$Ancho_{vig} = 101,6 [mm]$$

$$\sigma_{extremo} = \frac{Fx}{4 * A_p}$$

$$FS = \frac{\sigma_{real_{extremo}}}{\sigma_{extremo}}$$

Análisis en cortante:

$$A_{cor} = \pi * r_{var}^2$$

$$\tau_{prom} = \frac{Fx}{2 * A_{cor}}$$

$$FS = \frac{\tau_{real}}{\tau_{prom}}$$

Si se usa un factor de seguridad en la carga de 1,9 un valor pequeño en factor de seguridad se puede encontrar que el esfuerzo por compresión en el pasador alcanza un valor de 9,572 Mpa, compresión en el soporte de 9,105 Mpa y un cortante de 4,786 Mpa se toma el valor esfuerzo cortante permisible de 25 Mpa y como ya se había dicho el de compresión permisible es de 100 Mpa, por lo tanto resistirá.

**6.1.1.3 cálculos basados en fatiga.** Antes de calcular la base que sostiene la estructura se debe encontrar que aportan las cajas sobre la misma, por esto se procede a realizar el siguiente análisis:

- Selección de engranajes

Para poder cumplir con su cometido el sistema requiere un aumento de la velocidad de trabajo ya que los alternadores trabajan cómodamente para valores de velocidad superiores a 1800 RPM por lo tanto se debe generar un aumento de la velocidad

para alcanzar un valor superior a este, para conseguir este objetivo se procede a seleccionar los engranajes haciendo uso del catálogo de Martin para engranajes, estos se seleccionan para producir una velocidad de salida deseada y son propuestos por el diseñador, para este caso se escogen engranajes de 160 dientes y 36 dientes respectivamente se realiza de esta manera para que la búsqueda de piezas de cambio sea más sencilla. En el caso de los engranajes para las manos se seleccionan de 112 dientes y 36 dientes respectivamente:

Ilustración 23. Catálogo de engranajes Martin.

## 16 DP

Cara  $\frac{3}{4}$ "

## Engranajes Rectos de Acero y Hierro Fundido en Existencia

Ángulo de Presión 20°

**Tipo B**  
Sencillo con Maza en Acero

**Tipo B<sub>3</sub>**  
Con Alma y Rayos de Hierro Fundido

**Tipo B**

**Tipo B<sub>3</sub>**

Número de Dientes	Número de Partes	Ángulo de Píndice	Diámetro		Tipo	Barrido (Pulg.)		Maza (Pulg.)		Peso Aprox. (lb)
			Paso	Exterior		Pírate	Máx. *	Diámetro	Proy.	
12	TS1612	20	.750	.875	B	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{2}$	0.09
13	TS1613	20	.812	.938	B	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{2}$	0.11
14	TS1614	20	.875	1.000	B	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{2}$	0.14
15	TS1615	20	.937	1.063	B	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{2}$	0.17
16	TS1616	20	1.000	1.125	B	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{2}$	0.17
17	TS1617	20	1.062	1.188	B	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{2}$	0.20
18	TS1618	20	1.125	1.250	B	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{2}$	0.24
20	TS1620	20	1.250	1.375	B	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	0.28
21	TS1621	20	1.312	1.438	B	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	0.32
22	TS1622	20	1.375	1.500	B	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	0.36
24	TS1624	20	1.500	1.625	B	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	0.46
26	TS1626	20	1.625	1.750	B	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	0.56
28	TS1628	20	1.750	1.875	B	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	0.65
30	TS1630	20	1.875	2.000	B	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	0.77
32	TS1632	20	2.000	2.125	B	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	0.90
36	TS1636	20	2.250	2.375	B	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{4}$	2	$\frac{1}{2}$	1.18
40	TS1640	20	2.500	2.625	B	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{4}$	2	$\frac{1}{2}$	1.48
48	TS1648	20	3.000	3.125	B	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{4}$	2	$\frac{1}{2}$	1.94
56	TS1656	20	3.500	3.625	B	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{4}$	2 $\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	2.79
60	TS1660	20	3.750	3.875	B	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{4}$	2 $\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	3.28
64	TS1664	20	4.000	4.125	B	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{4}$	2 $\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	3.74
72	TS1672	20	4.500	4.625	B	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{4}$	3	$\frac{1}{2}$	4.69
80	TS1680	20	5.000	5.125	B	$\frac{3}{8}$	2 $\frac{1}{2}$	3 $\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	6.03
84	TS1684	20	5.250	5.375	B	$\frac{3}{8}$	2 $\frac{1}{2}$	3 $\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	6.46
96	TS1696	20	6.000	6.125	B	$\frac{3}{8}$	2 $\frac{1}{2}$	3 $\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	7.86
104	TS16104	20	6.500	6.625	B	$\frac{3}{8}$	2 $\frac{1}{2}$	3 $\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	8.91

Número de Dientes	Número de Partes	Ángulo de Píndice	Diámetro		Tipo	Barrido (Pulg.)		Maza (Pulg.)		Peso Aprox. (lb)
			Paso	Exterior		Pírate	Máx. *	Diámetro	Proy.	
112	TC16112	20	7.000	7.125	B <sub>3</sub>	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{4}$	2 $\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	4.4
128	TC16128	20	8.000	8.125	B <sub>3</sub>	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{4}$	2 $\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	5.5
144	TC16144	20	9.000	9.125	B <sub>3</sub>	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{4}$	2 $\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	6.4
160	TC16160	20	10.000	10.125	B <sub>3</sub>	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{4}$	2 $\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	8.1
192	TC16192	20	12.000	12.125	B <sub>3</sub>	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{4}$	3	1	10.1

Fuente: MARTIN SPROCKET & GEAR INC. El gran catálogo 4000. En: MOHER. [Sitio web]. Querétaro: Moher. Catálogos. p. 545. [Consultado el 20 de septiembre de 2020]. Archivo pdf. Disponible en: <http://www.moher.mx/catalogos/13.pdf>.

De aquí se comprueba que el valor del ancho del diente soporte las cargas a las que se someten los engranajes:

$$F = \frac{PD \left( \frac{DHP * 33000}{V} \right)}{S * Y \left( \frac{600}{600 + V} \right)}$$

De ahí se posee los valores del paso diámetro que vale 16 este valor puede ser consultado de la tabla que se muestra en el catálogo:

**Tabla 13. Dimensiones de profundidad total para dientes estandar**

Paso Diámetro	Paso Circular	Módulo	Espesor del Arco Del Diente sobre la Línea de Paso	Addendum	Profundidad de Trabajo del Diente	Deendum ó Profundidad de Espacio Debajo de la Línea de Paso	Profundidad Total del Diente*
1/8	6.2832	50.8	3.1416	2.0000	4.0000	2.3142	4.3142
1/4	4.1888	33.8667	2.0944	1.3333	2.6666	1.5428	2.8761
1/2	3.1416	25.4	1.5708	1.0000	2.0000	1.1571	2.1571
3/8	2.5133	20.32	1.2566	0.8000	1.6000	0.9257	1.7257
1/2	2.0944	16.9333	1.0472	0.6666	1.3333	0.7714	1.4381
3/4	1.7952	14.5143	0.8976	0.5714	1.1429	0.6612	1.2326
1	1.5708	12.7	0.7854	0.5000	1.0000	0.5785	1.0785
1 1/4	1.3963	11.2889	0.6981	0.4444	0.8888	0.5143	0.9587
1 1/2	1.2566	10.16	0.6283	0.4000	0.8000	0.4628	0.8628
1 3/4	1.1424	9.2364	0.5712	0.3636	0.7273	0.4208	0.7844
2	1.0472	8.4667	0.5236	0.3333	0.6666	0.3857	0.7190
2 1/4	0.9976	7.2571	0.4488	0.2857	0.5714	0.3306	0.6163
2 1/2	0.7854	6.35	0.3927	0.2500	0.5000	0.2893	0.5393
3	0.6283	5.08	0.3142	0.2000	0.4000	0.2314	0.4314
3 1/2	0.5236	4.2333	0.2618	0.1666	0.3333	0.1928	0.3595
4	0.4488	3.6286	0.2244	0.1429	0.2857	0.1653	0.3081
4 1/2	0.3927	3.175	0.1963	0.1250	0.2500	0.1446	0.2696
5	0.3491	2.8222	0.1745	0.1111	0.2222	0.1286	0.2397
5 1/2	0.3142	2.54	0.1571	0.1000	0.2000	0.1157	0.2157
6	0.2856	2.3091	0.1428	0.0909	0.1818	0.1052	0.1961
6 1/2	0.2618	2.1167	0.1309	0.0833	0.1666	0.0964	0.1798
7	0.2417	1.9538	0.1208	0.0769	0.1538	0.0890	0.1659
7 1/2	0.2244	1.8143	0.1122	0.0714	0.1429	0.0826	0.1541
8	0.2094	1.6933	0.1047	0.0666	0.1333	0.0771	0.1438
8 1/2	0.1963	1.5875	0.0982	0.0625	0.1250	0.0723	0.1348
9	0.1848	1.4941	0.0924	0.0588	0.1176	0.0681	0.1269
9 1/2	0.1745	1.4111	0.0873	0.0555	0.1111	0.0643	0.1198
10	0.1653	1.3368	0.0827	0.0526	0.1053	0.0609	0.1135
10 1/2	0.1571	1.27	0.0785	0.0500	0.1000	0.0579	0.1079
11	0.1428	1.1545	0.0714	0.0455	0.0909	0.0526	0.0980
11 1/2	0.1309	1.0583	0.0654	0.0417	0.0833	0.0482	0.0898
12	0.1208	.9769	0.0604	0.0385	0.0769	0.0445	0.0829
12 1/2	0.1122	.9071	0.0561	0.0357	0.0714	0.0413	0.0770
13	0.1047	.8467	0.0524	0.0333	0.0666	0.0386	0.0719
13 1/2	0.0982	.7938	0.0491	0.0312	0.0625	0.0362	0.0674
14	0.0924	.7471	0.0462	0.0294	0.0588	0.0340	0.0634
14 1/2	0.0873	.7066	0.0436	0.0278	0.0555	0.0321	0.0599
15	0.0827	.6684	0.0413	0.0263	0.0526	0.0304	0.0568
16	0.0785	.635	0.0393	0.0250	0.0500	0.0289	0.0539

\*NOTA: Las dimensiones indicadas son sólo para DIENTES GENERADOS CON CORTADOR DE ENGRANES. Los dientes cortados con otro método pueden ser un poco más grandes. Consulte a [www.moher.mx](http://www.moher.mx) para las dimensiones exactas.

Fuente: MARTIN SPROCKET & GEAR INC. El gran catálogo 4000. En: MOHER. [Sitio web]. Querétaro: Moher. Catálogos. p. 597. [Consultado el 20 de septiembre de 2020]. Archivo pdf. Disponible en: <http://www.moher.mx/catalogos/13.pdf>.

El valor del módulo se puede hallar por medio de las ecuaciones:

$$De = Dp + 2 * M$$

$$Dp = M * Z$$

Los engranajes comparten el mismo modulo esto debido a que debe ser así para que puedan funcionar como un tren de engranajes, con estos valores se procede a buscar el material de fabricación:

**Tabla 14. Valores promedio de S**

Material	S
Acero — Carbón .40	25000
— Carbón .20	20000
Acero — .40 Carbón, con Tratamiento Térmico	35000
Hierro Fundido	12000
Bronce	10000
No Metálico	6000

Fuente: MARTIN SPROCKET & GEAR INC. El gran catálogo 4000. En: MOHER. [Sitio web]. Querétaro: Moher. Catálogos. p. 595. [Consultado el 20 de septiembre 2020]. Archivo pdf. Disponible en: <http://www.moher.mx/catalogos/13.pdf>.

Como valor agregado se necesita conocer el factor Y:

**Tabla 15. Valores de Y**

Número de Dientes	A.P. 14% Involuta	A.P. 20 Involuta	Número de Dientes	A.P. 14% Involuta	A.P. 20 Involuta
10	.176	.201	26	.308	.344
11	.182	.226	28	.314	.352
12	.210	.245	30	.318	.358
13	.223	.264	35	.327	.373
14	.235	.276	40	.336	.388
15	.245	.289	45	.340	.398
16	.255	.295	50	.346	.408
17	.264	.302	60	.355	.421
18	.270	.308	70	.360	.429
19	.277	.314	80	.363	.436
20	.283	.320	90	.366	.442
21	.289	.326	100	.368	.446
22	.292	.330	150	.375	.458
23	.296	.333	200	.378	.463
24	.302	.337	CREMALLERA	.380	.464
25	.305	.340			

Fuente: MARTIN SPROCKET & GEAR INC. El gran catálogo 4000. En: MOHER. [Sitio web]. Querétaro: Moher. Catálogos. p. 595. [Consultado el 20 de septiembre de 2020]. Archivo pdf. Disponible en: <http://www.moher.mx/catalogos/13.pdf>.

Para encontrar el valor de  $V$  se usa la siguiente ecuación que también se relaciona en el catálogo:

$$V = 0,262 * DP * RPM$$

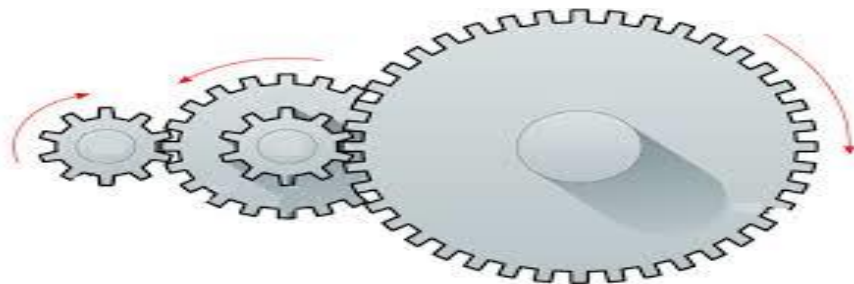
Se procede a realizar el análisis con los engranajes a fin de comprobar si el valor de ancho de cara es apropiado y resiste la aplicación que se necesita, los valores obtenidos no superan el ancho de la cara en el análisis de los piñones ya que el análisis se realiza sobre los mismos, los resultados muestran que el ancho de cara óptimo es de  $\frac{3}{4}$  de pulgada ya que supera el mayor de los encontrados:

**Tabla 16. Anchos de caras**

PD	DP	N	HP	DHP	V	S	Y	F
16	2,249977	488,9	0,8	0,8	287,67306	20000	0,463	0,2345933
16	2,249977	2172,84	0,8	0,8	1280,8761	20000	0,463	0,1116387
16	2,2500608	217,8	0,8	0,8	128,39657	20000	0,389	0,5133429
16	2,2500608	677,5	0,8	0,8	399,39704	20000	0,389	0,226426
16	2,2500608	2108	0,8	0,8	1242,6996	20000	0,389	0,134178

Por lo tanto los engranajes de los pies se seleccionan y se calcula cual es la velocidad de salida que se desea.

**Ilustración 24. Tren de engranajes**



Fuente: MECANISMOS. [Sitio web]. Tren de compuestos de engranajes. [Consultado: 02 de enero de 2021]. Disponible en: <https://sites.google.com/site/sergio1mecatronica/home/transmision-de-movimientos/8-tren-compuesto-de-engranajes>

$$N_1 = 110 \text{ RPM}$$

$$N_2 = ?$$

$$N_3 = ?$$

$$N_4 = ?$$

$$Z_1 = 160$$

$$Z_2 = 36$$

$$Z_3 = 160$$

$$Z_4 = 36$$

$$RPM_{prom} = \frac{99,57 + 114,29 + 103,33 + 110,69 + 118,59}{5}$$

$$RPM_{prom} = 109,294 \text{ RPM}$$

$$RPM_{prom} \approx 110 \text{ RPM}$$

$$i_{total} = \frac{Z_1 * Z_3}{Z_4 * Z_2}$$

$$i_{total} = \frac{160 * 160}{36 * 36}$$

$$i_{total} = 19,7530$$

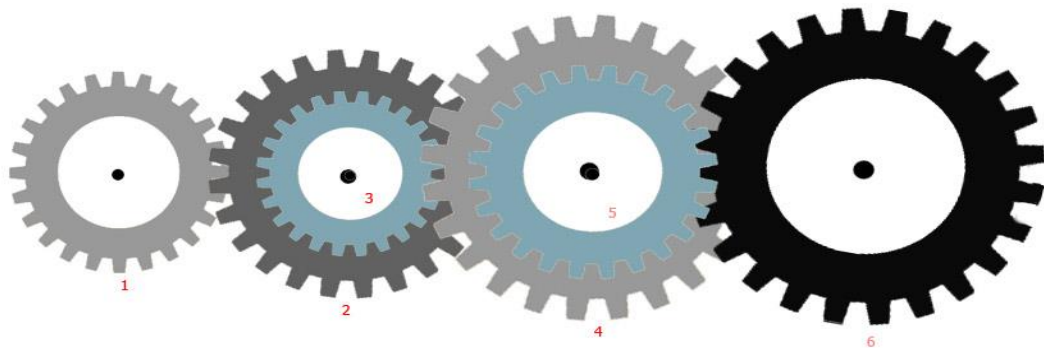
$$N_4 = i * N_1$$

$$N_4 = 19,753 * 110$$

$$N_4 = 2172,83 \text{ RPM}$$

Para la caja de las manos:

### Ilustración 25. Tren de engranajes de 4 ejes



Fuente: INGELIBRE. [Sitio web]. Mecanismos de engranajes (II): Relación de transmisión. Estudio cinemático de un tren de engranajes. [Consultado: 02 de enero de 2021]. Disponible en: <https://ingelibreblog.wordpress.com/2014/11/17/mecanismos-de-engranajes-ii-relacion-de-transmision-estudio-cinematico-de-un-tren-de-engranajes/>

$$N_1 = 70 \text{ RPM}^{27}$$

<sup>27</sup> FAUPIN, Arnaud y GORCE, Philippe. The effects of crank adjustments on handbike propulsion: A kinematic model approach. *International Journal of Industrial Ergonomics*. 2008, vol. 38, nro. 7. p. 6. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2008.01.019>

$$N_2 = ?$$

$$N_3 = ?$$

$$N_4 = ?$$

$$N_5 = ?$$

$$N_6 = ?$$

$$N_2 = N_3$$

$$N_4 = N_5$$

$$Z_1 = 112$$

$$Z_2 = 36$$

$$Z_3 = 112$$

$$Z_4 = 36$$

$$Z_5 = 112$$

$$Z_6 = 36$$

$$i_{total} = \frac{Z_1 * Z_3 * Z_5}{Z_4 * Z_2 * Z_6}$$

$$i_{total} = \frac{112 * 112 * 112}{36 * 36 * 36}$$

$$i_{total} = 30,1124$$

$$N_6 = i * N_1$$

$$N_6 = 30,1124 * 70$$

$$N_4 = 2107,8738 \text{ RPM}$$

- Diseño de ejes:
  - Diámetro del eje pre dimensionamiento.

Actualmente la mayoría de los diseños que se presentan en los ejes se realizan por el concepto de la fatiga, sin embargo una aproximación para ese diámetro con el fin de calcular el valor mínimo de diámetro que soporte los esfuerzos de torsión que se presentan en el eje. Se ha encontrado que un valor para el máximo desplazamiento angular que puede tener un eje por cada unidad de longitud puede tomarse como un valor de 0,25<sup>28</sup> este valor asegura que no se presentara una variación angular que pueda poner en riesgo la integridad del eje y la del mecanismo en general.

$$\frac{\theta}{L} = \frac{32 * T}{\pi * d^4 * G}$$

$\theta$  = ángulo de giro que se genera en el eje (rad)

---

<sup>28</sup> SANCHES MARTINES, Daniel. DISEÑO Y CÁLCULO DE UN REDUCTOR DE VELOCIDAD PARA UNA CINTA TRANSPORTADORA. Grado en Ingeniería Mecánica. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña, 2018. p. 43.

$T = \text{Par de torsion aplicado en el eje (N.m)}$

$G = \text{modulo de Rigidez torsional del material que se construye el eje (N/m}^2\text{)}$

$d = \text{diametro del eje (m)}$

$L = \text{largo del eje (m)}$

➤ Ejes en la caja amplificadora de las piernas

**Tabla 17. Diametro de los ejes de la caja amplificadora de las piernas**

Eje	Dmin (m)	D (m)
Entrada	0,03465	0,04
Intermedio	0,02358	0,03
Salida	0,01604	0,02

1. Eje de entrada

Reacciones que se generan con vista en el plano XY.

$$Fr1 = F * \text{sen}(\phi)$$

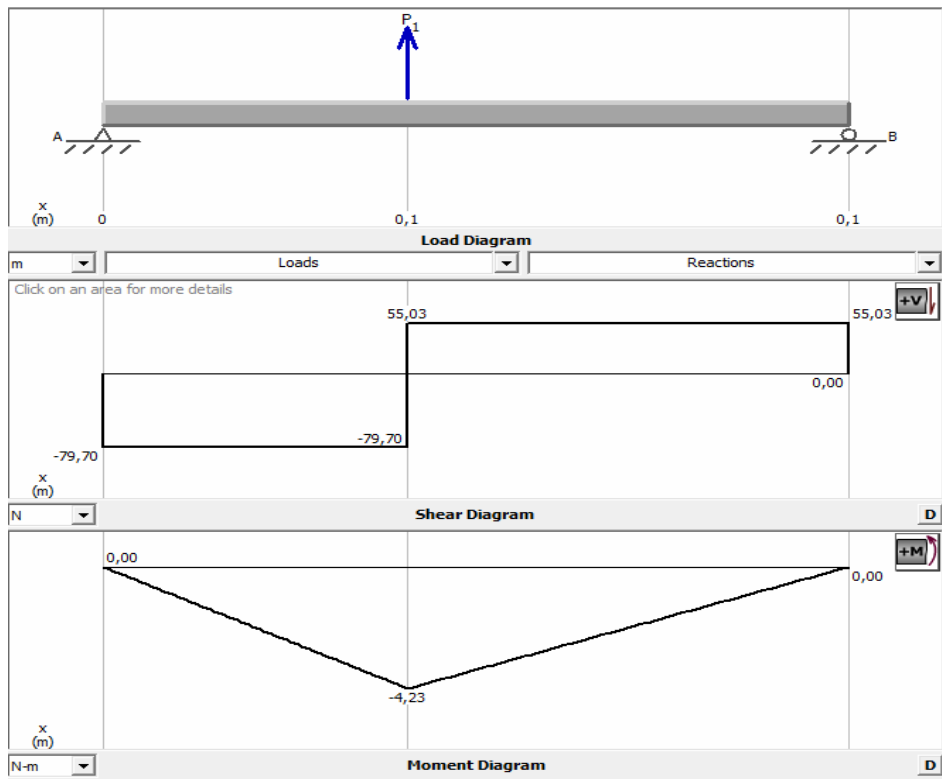
$$Fr1 = 393,945 * \text{sen}(20)$$

$$Fr1 = 134,737 \text{ N}$$

$$Ray = 79,70 \text{ N}$$

$$Rby = 55,03 \text{ N}$$

**Ilustración 26. Diagrama de cortante y momento eje de entrada caja para los pies plano xy**



Reacciones que se generan con vista en el plano XZ.

$$Ft1 = F * \cos(\phi)$$

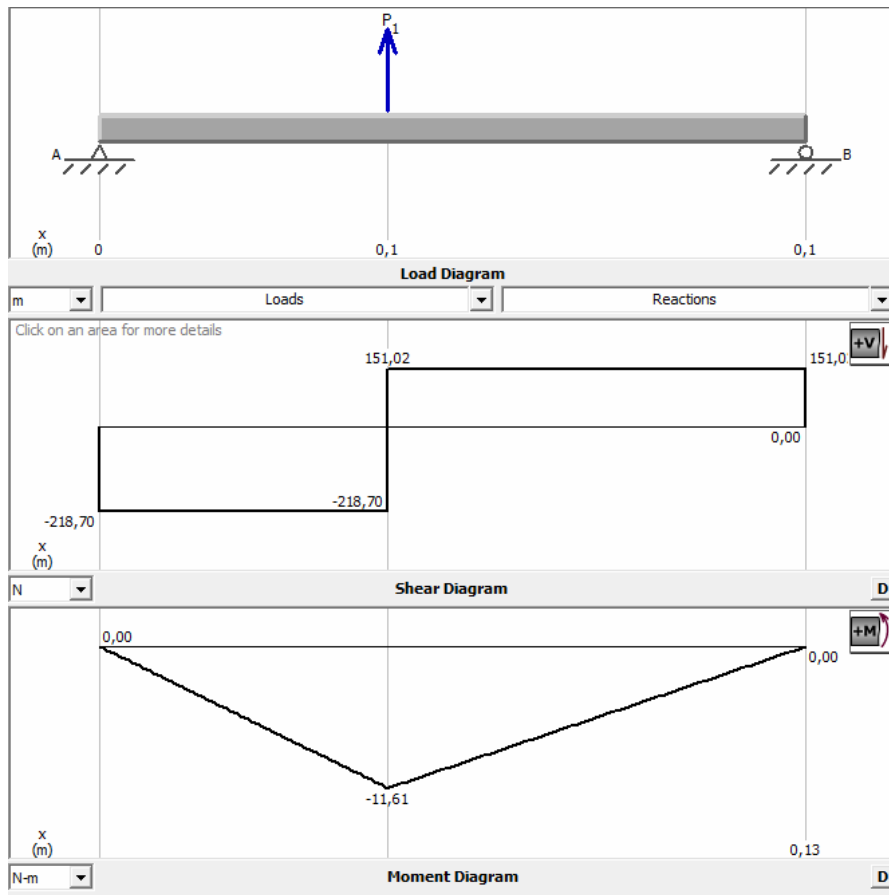
$$Ft1 = 393,45 * \cos(20)$$

$$Ft1 = 369,7220 \text{ N}$$

$$Raz = 218,70 \text{ N}$$

$$Rbz = 151,02 \text{ N}$$

**Ilustración 27. Diagrama de cortante y momento eje de entrada caja para los pies plano xz**



$$R_a = \sqrt{R_{ay}^2 + R_{az}^2}$$

$$R_a = \sqrt{79,70^2 + 218,70^2}$$

$$R_a = 232,7698 \text{ N}$$

$$R_b = \sqrt{R_{by}^2 + R_{bz}^2}$$

$$R_b = \sqrt{55,03^2 + 151,02^2}$$

$$R_b = 160,733 \text{ N}$$

## 2. Eje intermedio

Reacciones que se generan con vista en el plano XY.

$$Fr2 = F2 * \text{sen}(\phi)$$

$$Fr2 = 393,945 * \text{sen}(20)$$

$$Fr2 = 134,7371 \text{ N}$$

$$Fr3 = F3 * \text{sen}(\phi)$$

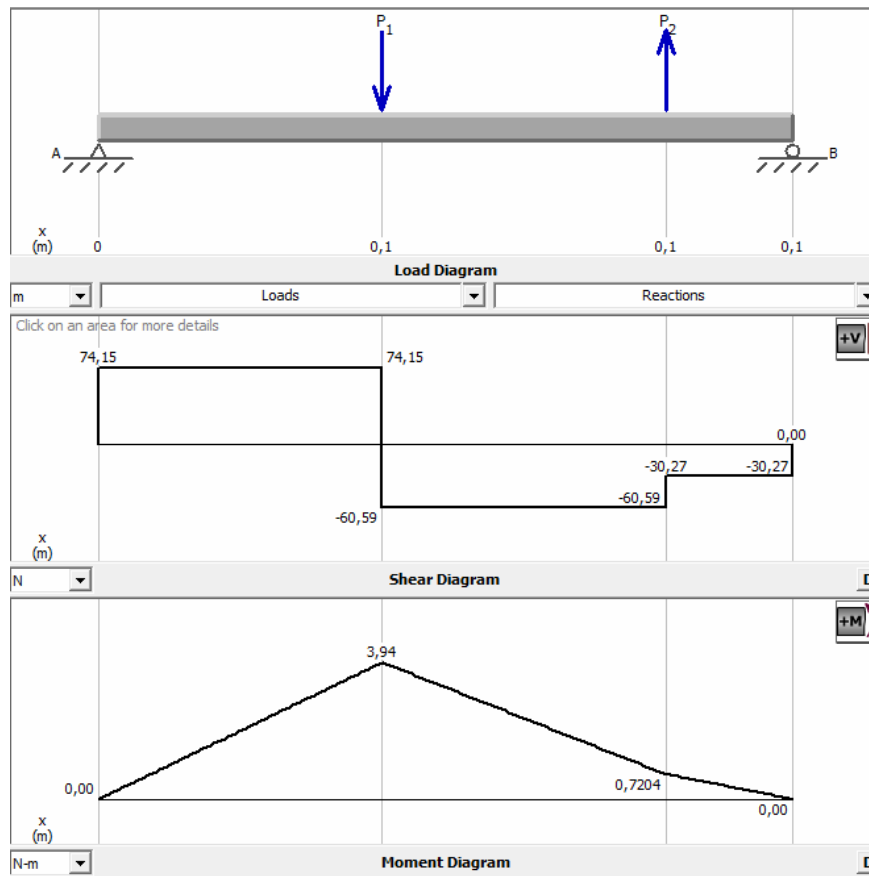
$$Fr3 = 88,638 * \text{sen}(20)$$

$$Fr3 = 30,3159 \text{ N}$$

$$Ra2y = 74,15 \text{ N}$$

$$Rb2y = 30,27 \text{ N}$$

**Ilustración 28. Diagrama de cortante y momento eje intermedio caja para los pies plano xy**



Reacciones que se generan con vista en el plano XZ.

$$Ft2 = F2 * \cos(\emptyset)$$

$$Ft2 = 393,945 * \cos(20)$$

$$Ft2 = 370,1872 \text{ N}$$

$$Ft3 = F3 * \cos(\emptyset)$$

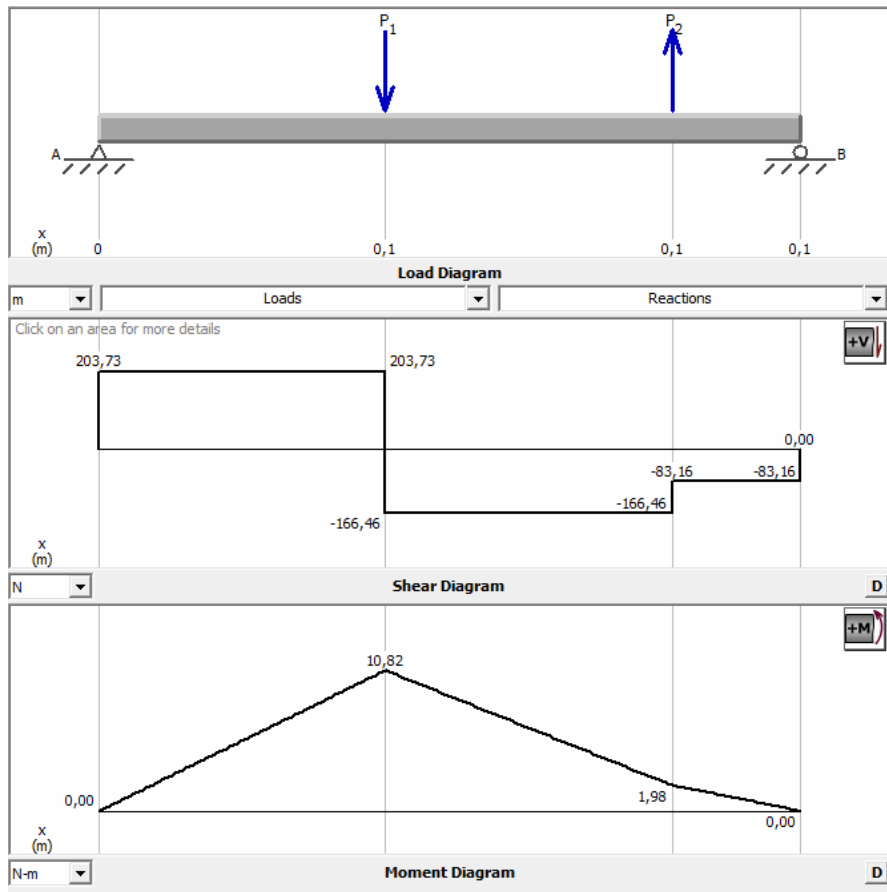
$$Ft3 = 88,638 * \cos(20)$$

$$Ft3 = 83,2924 \text{ N}$$

$$Ra2z = 203,73N$$

$$Rb2z = 83,16 N$$

**Ilustración 29. Diagrama de cortante y momento eje intermedio caja para los pies plano xz**



$$Ra2 = \sqrt{Ra2y^2 + Ra2z^2}$$

$$Ra2 = \sqrt{74,15^2 + 203,73^2}$$

$$Ra2 = 216,8043 N$$

$$Rb2 = \sqrt{Rb2y^2 + Rb2z^2}$$

$$Rb2 = \sqrt{30,27^2 + 83,16^2}$$

$$Rb2 = 88,4977 N$$

### 3. Eje Salida

Reacciones que se generan con vista en el plano XY.

$$Fr3 = 61,25333 \text{ N}$$

$$Fr4 = F3 * \text{sen}(\phi)$$

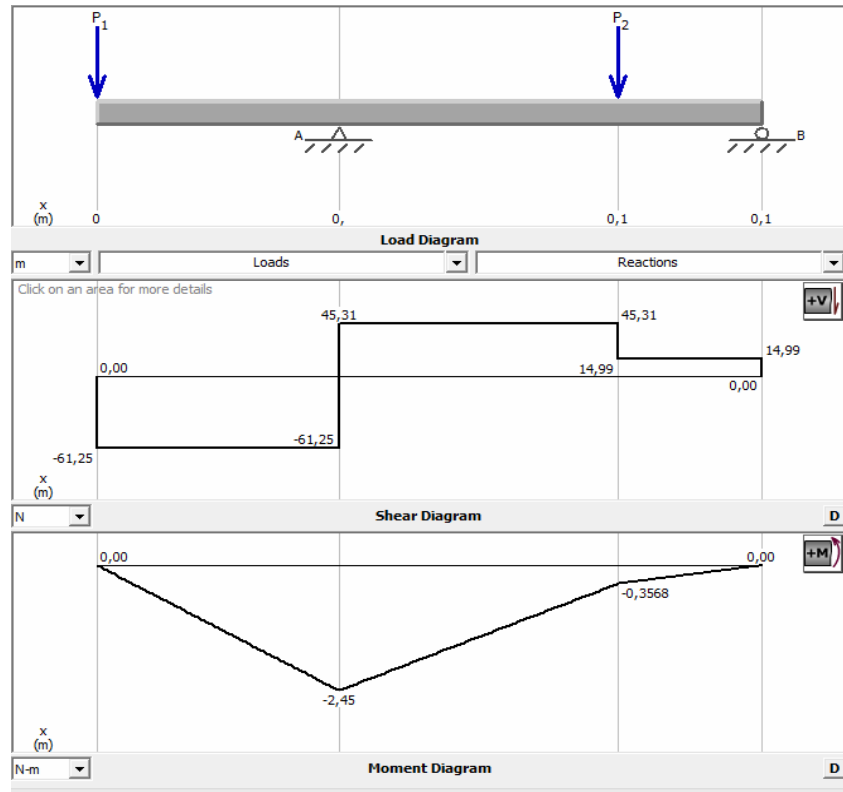
$$Fr4 = 88,638 * \text{sen}(20)$$

$$Fr4 = 30,3159 \text{ N}$$

$$Ra3y = 106,56 \text{ N}$$

$$Rb3y = 14,99 \text{ N}$$

**Ilustración 30. Diagrama de cortante y momento eje salida caja para los pies plano xy**



Reacciones que se generan con vista en el plano XZ.

$$Ft3 = F3 * \cos(\emptyset)$$

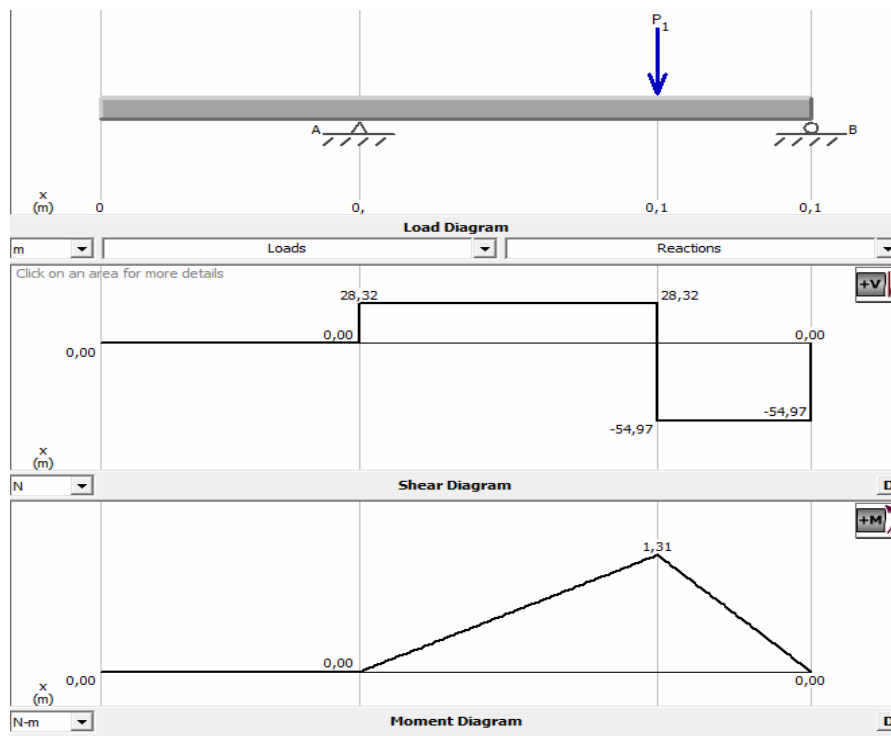
$$Ft3 = 88,638 * \cos(20)$$

$$Ft3 = 83,2924 \text{ N}$$

$$Ra3z = 28,32 \text{ N}$$

$$Rb3z = 54,97 \text{ N}$$

**Ilustración 31. Diagrama de cortante y momento eje salida caja para los pies plano xz**



$$Ra3 = \sqrt{Ra3y^2 + Ra3z^2}$$

$$Ra3 = \sqrt{106,56^2 + 28,32^2}$$

$$Ra3 = 110,2590 \text{ N}$$

$$Rb3 = \sqrt{Rb3y^2 + Rb3z^2}$$

$$Rb3 = \sqrt{14,99^2 + 54,97^2}$$

$$Rb3 = 56,9771 \text{ N}$$

- Cálculo por concepto de fatiga de los ejes.

El concepto por el cual se analizan la gran mayoría de ejes actualmente es el que analiza la fatiga que se genera en el material, esta se genera debido a cargas que se aplican de manera consecutivas durante un gran periodo de tiempo. Este cálculo es muy importante ya que por este se analiza un material que aunque no ha superado los límites para los cuales fue diseñado falla, como resultado se pueden generar fracturas en el material antes de lo esperado, algunos autores abordan este problema y entre las mejores ecuaciones de cálculo se encuentra:

$$\frac{\sigma_y}{n} = \sqrt{\left(\sigma_m + \frac{\sigma_y}{S_e}\right)^2 + \left(\tau_m + \frac{\sigma_y}{S_e} * \tau_a\right)^2}$$

Al realizar la reducción correspondiente se encuentra que:

$$\frac{\sigma_y}{n} = \frac{32}{\pi * d^3} * \sqrt{\left(\frac{\sigma_y}{S_e} * Ma\right)^2 + (Tm)^2}$$

De esta ecuación se sabe que:

$\sigma_y$  : límite de fluencia del material del cual están formados los ejes

$n$  : factor de seguridad que se establece con el fin de asegurar no fallo

$S_e$  : límite a fatiga del material del cual se fabrican los ejes

$M_a$  : momento flector alternante que se presenta debido a la carga

$T_m$  : momento torsor medio generado por la carga

$d$  : diametro de cada una de las secciones que componen al eje

Cálculo del límite a fatiga  $S_e$

$$S_e = k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * \frac{S_e'}{K_f}$$

Donde  $S_e'$  es igual a  $0,5 * S_{ut}$ .

➤  $K_a$ : factor de superficie

$$k_a = a * S_{ut}^{-b}$$

**Tabla 18. Coeficiente a y b en función del acabado superficial**

Acabado superficial	Factor a		Exponente b
	$S_{ut}$ kpsi	$S_{ut}$ MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o laminado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272.	-0.995

De C. J. Noll y C. Lipson, "Allowable Working Stresses", en *Society for Experimental Stress Analysis*, vol. 3. núm. 2, 1946, p. 29. Reproducida por O. J. Horgner (ed.), *Metals Engineering Design ASME Handbook*, McGraw-Hill, Nueva York. Copyright © 1953 por The McGraw-Hill Companies, Inc. Reproducido con autorización.

Fuente: KEITH NISBETT, J. y BUDYNAS, Richard G. Diseño en ingeniería mecánica de Shigley - 8 Edición. México: McGrawHill. 2008. p. 280.

➤  $K_b$ : factor de tamaño

Si  $2,79 \text{ mm} \leq d \leq 51 \text{ mm}$

$$k_b = \left(\frac{d}{7,62}\right)^{-0,107}$$

Si  $51 \text{ mm} \leq d \leq 254 \text{ mm}$

$$k_b = 1,51 * d^{-0,157}$$

➤  $K_c$ : factor de fatiga por tipo de carga

0,8 para carga axial

1 para flexión

0,577 para torsión y cortante

➤  $K_d$ : factor de temperatura

Si  $T < 300^\circ\text{C}$   $k_d = 1$ , se supone una temperatura de trabajo de  $60^\circ\text{C}$

➤  $K_e$ : factor de confiabilidad

**Tabla 19. Factor  $k_e$  dependiendo de la confiabilidad**

Confiabilidad, %	Variación de transformación $z_o$	Factor de confiabilidad $k_o$
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659
99.9999	4.753	0.620

Fuente: KEITH NISBETT, J. y BUDYNAS, Richard G. Diseño en ingeniería mecánica de Shigley - 8 Edición. México: McGrawHill. 2008. p. 285.

- Kf: factor de entalla

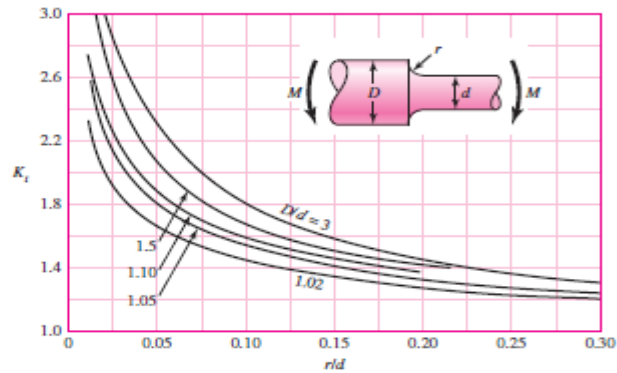
$$kf = 1 + q * (kt - 1)$$

Donde kt es el concentrador de tensiones:

### Ilustración 32. Factor kt dependiendo del diámetro y la reducción

**Figura A-15-9**

Eje redondo con filete en el hombro en flexión.  $\sigma_0 = Mc/I$ , donde  $c = d/2$  y  $I = \pi d^4/64$ .



Fuente: KEITH NISBETT, J. y BUDYNAS, Richard G. Diseño en ingeniería mecánica de Shigley - 8 Edición. México: McGrawHill. 2008. p. 1008.

$$q = \frac{1}{1 + \frac{a}{r}}$$

$$a = 0,025 * \left(\frac{2070}{S_{ut}}\right)^{1,8}$$

Con estas fórmulas y graficas se construyen tablas donde se pueden calcular los factores de seguridad sobre lo diámetros y alturas de hombros escogidos:

- Eje de entrada

**Tabla 20. Cálculo de kf eje de entrada caja piernas.**

Seccion	D	d	D/d	r	r/d	Kt	a	a/r	q	Kf	
1	-		40	Rodamiento	-	-	-	0,306	-	-	1
2	-		40	Chaveta	0,75	0,01875	2,35	0,306	0,408	0,71022727	1,95880682
3		52	40	1,3	0,75	0,01875	2,7	0,306	0,408	0,71022727	2,20738636
4		52	40	1,3	0,75	0,01875	2,7	0,306	0,408	0,71022727	2,20738636
5	-		40	Rodamiento	-	-	-	0,306	-	-	1

**Tabla 21. Cálculo factores eje de entrada caja piernas.**

Seccion	M(N.m)	T(N.m)	d(m)	ka	kb	kc	kd	ke	kf	Sigma_E	N	
1	0	50,03	0,04	0,862	0,83743048	1	1	1	0,814	1	151,306528	25,7456726
2	4,6539	50,03	0,04	0,862	0,83743048	1	1	1	0,814	1,95880682	77,2442321	24,995251
3	12,3565	0	0,052	0,862	0,815476	1	1	1	0,814	2,20738636	66,7485342	74,5688079
4	7,538	0	0,052	0,862	0,815476	1	1	1	0,814	2,20738636	66,7485342	122,236893
5	0	0	0,04	0,862	0,83743048	1	1	1	0,814	1	151,306528	infinito

➤ Eje intermedio

**Tabla 22. Cálculo de kf eje intermedio caja piernas.**

Seccion	D	d	D/d	r	r/d	Kt	a	a/r	q	Kf	
1	-		30	Rodamiento	-	-	-	0,306	-	-	1
2	-		30	Chaveta	0,75	0,025	2,35	0,306	0,408	0,71022727	1,95880682
3		39	30	1,3	0,75	0,025	2,6	0,306	0,408	0,71022727	2,13636364
4		39	30	1,3	0,75	0,025	2,6	0,306	0,408	0,71022727	2,13636364
5	-		30	Chaveta	0,75	0,025	2,35	0,306	0,408	0,71022727	1,95880682
6	-		30	Rodamiento	-	-	-	-	-	-	1

**Tabla 23. Cálculo factores eje intermedio caja piernas.**

Seccion	M(N.m)	T(N.m)	d(m)	ka	kb	kc	kd	ke	kf	Sigma_E	N	
1	0	0	0,03	0,862	0,8636091	1	1	1	0,814	1	156,036468	infinito
2	4,337	11,257	0,03	0,862	0,8636091	1	1	1	0,814	1,95880682	79,6589366	34,2791366
3	11,515	11,257	0,039	0,862	0,83970216	1	1	1	0,814	2,13636364	71,0164561	34,0183011
4	8,857	11,257	0,039	0,862	0,83970216	1	1	1	0,814	2,13636364	71,0164561	42,7344913
5	2,1069	11,257	0,03	0,862	0,8636091	1	1	1	0,814	1,95880682	79,6589366	43,4901746
6	0	0	0,03	0,862	0,8636091	1	1	1	0,814	1	156,036468	infinito

➤ Eje salida

**Tabla 24. Cálculo de kf eje salida caja piernas.**

Seccion	D	d	D/d	r	r/d	Kt	a	a/r	q	Kf	
1	-		20	Rodamiento	-	-		0,306	-	-	1
2		26	20	1,3	0,75	0,0375	2,4	0,306	0,408	0,71022727	1,99431818
3		26	20	1,3	0,75	0,0375	2,4	0,306	0,408	0,71022727	1,99431818
4	-		20	Chaveta	0,75	0,0375	2,35	0,306	0,408	0,71022727	1,95880682
5	-		20	Rodamiento	-	-		0,306	-	-	1

**Tabla 25. Cálculo factores eje salida caja piernas.**

Seccion	M(N.m)	T(N.m)	d(m)	ka	kb	kc	kd	ke	kf	Sigma_E	N
1	0	0	0,02	0,862	0,90190122	1	1	1	0,814	1	162,95507 infinito
2	2,45	0	0,026	0,862	0,87693425	1	1	1	0,814	1,99431818	79,4477293 55,9546726
3	1,3809	0	0,026	0,862	0,87693425	1	1	1	0,814	1,99431818	79,4477293 99,2750726
4	1,350	2,533	0,02	0,862	0,90190122	1	1	1	0,814	1,95880682	83,1909856 38,5068461
5	0	2,533	0,02	0,862	0,90190122	1	1	1	0,814	1	162,95507 63,5637584

Al analizar los valores obtenidos en cada uno de los factores de seguridad de los ejes se encuentra que todos resisten de manera perfecta la fatiga que se presenta por el uso que recibirán.

- Selección de rodamientos SKF

La selección de los rodamientos se apoyara en el proceso que se describe en el catálogo de SKF en el cual se calcula el valor de carga dinámica que es soportado por el rodamiento nominalmente, si este valor es mayor que el solicitado por la aplicación el rodamiento aguantara la carga, en caso contrario es necesario realizar el proceso con un rodamiento de mayor tamaño. Se usaran rodamientos radiales de bolas ya que son los más comunes y también presentan buenas características. Los modelos W se descargan debido al tipo de aplicación (Velocidad de giro normal).

$$C_{calc} = F * \sqrt[q]{\frac{L * 60 * n}{a_1 * a_{skf} * 10^6}}$$

$C_{calc}$  = capacidad de carga dinamica del rodamiento

$F$  = Carga en el apoyo

$q$  = coeficiente del tipo de rodamiento ( $q = 3$ )

$L$  = vida del rodamiento en horas

$n$  = velocidad angular del eje en RPM

$a_1$  = coeficiente de fiabilidad

**Tabla 26. Vida de los rodamientos en función del tipo de aplicación.**

Tabla 1	
Valores orientativos de la vida especificada de los diferentes tipos de máquinas	
Tipo de máquina	Vida especificada Horas de funcionamiento
Electrodomésticos, máquinas agrícolas, instrumentos, equipos técnicos de uso médico	300 ... 3 000
Máquinas utilizadas intermitentemente o durante breves periodos: herramientas eléctricas portátiles, dispositivos de elevación en talleres, máquinas y equipos para la construcción	3000 ... 8 000
Máquinas utilizadas intermitentemente o durante breves periodos donde se requiere una alta confiabilidad de funcionamiento: ascensores (elevadores), grúas para productos embalados o eslingas para tambores, etc.	8 000 ... 12 000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario, no siempre utilizadas al máximo: transmisiones por engranajes de uso general, motores eléctricos para uso industrial, trituradoras giratorias	10 000 ... 25 000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario utilizando plenamente sus capacidades: herramientas mecánicas, máquinas para carpintería, máquinas para la industria de la ingeniería, grúas para materiales a granel, ventiladores, cintas transportadoras, equipos de impresión, separadores y centrifugadoras	20 000 ... 30 000
Máquinas para 24 horas de trabajo continuo: unidades de engranajes para laminadoras, maquinaria eléctrica de tamaño medio, compresores, tornos de extracción para minas, bombas, maquinaria textil	40 000 ... 50 000
Maquinaria para energía eólica, incluidos los rodamientos del eje principal, de orientación, de la caja de engranajes de cambio de paso, del generador	30 000 ... 100 000
Maquinaria para abastecimiento de agua, hornos giratorios, máquinas de trenzado de cables, maquinaria de propulsión para buques de alta mar	60 000 ... 100 000
Maquinas eléctricas de gran tamaño, plantas de generación de energía, bombas para minas, ventiladores para minas, rodamientos para ejes en túnel para buques de alta mar	100 000 ... 200 000

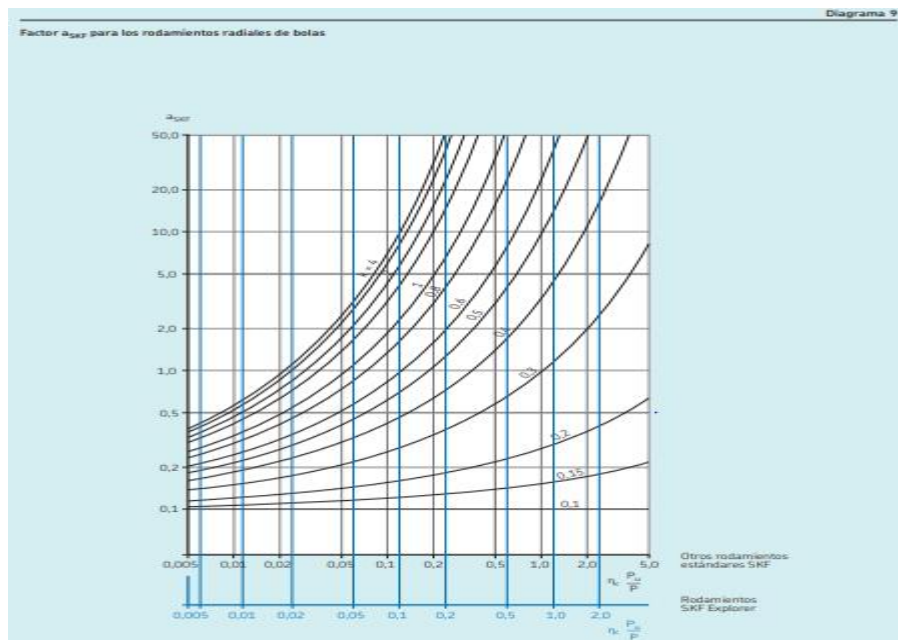
Fuente: GRUPO SKF. Rodamientos. En: SKF. [Sitio web]. s.d. p. 88. [Consultado el 20 de diciembre de 2020]. Archivo pdf. Disponible en: [https://www.skf.com/binaries/pub201/Images/0901d19680416953-Rolling-bearings---17000\\_1-ES\\_tcm\\_201-121486.pdf](https://www.skf.com/binaries/pub201/Images/0901d19680416953-Rolling-bearings---17000_1-ES_tcm_201-121486.pdf).

**Tabla 27. Coeficiente en función de la confiabilidad.**

Valores del factor de ajuste de la vida útil $a_1$			
Confiabilidad	Probabilidad de falla $n$	Vida nominal SKF $L_{nm}$	Factor $a_1$
%	%	millones de revoluciones	-
90	10	$L_{10m}$	1
95	5	$L_{5m}$	0,64
96	4	$L_{4m}$	0,55
97	3	$L_{3m}$	0,47
98	2	$L_{2m}$	0,37
99	1	$L_{1m}$	0,25

Fuente: GRUPO SKF. Rodamientos. En: SKF. [Sitio web]. s.d. p. 90. [Consultado el 20 de diciembre de 2020]. Archivo pdf. Disponible en: [https://www.skf.com/binaries/pub201/Images/0901d19680416953-Rolling-bearings---17000\\_1-ES\\_tcm\\_201-121486.pdf](https://www.skf.com/binaries/pub201/Images/0901d19680416953-Rolling-bearings---17000_1-ES_tcm_201-121486.pdf).

**Ilustración 33. Factor askf para los rodamientos radiales de bolas.**

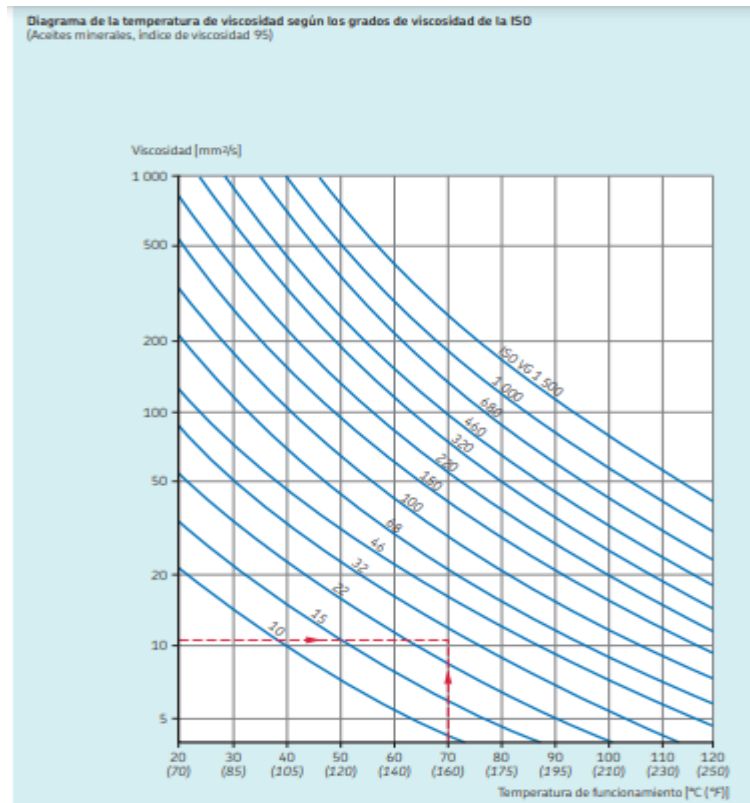


Fuente: GRUPO SKF. Rodamientos. En: SKF. [Sitio web]. s.d. p. 96. [Consultado el 20 de diciembre de 2020]. Archivo pdf. Disponible en: [https://www.skf.com/binaries/pub201/Images/0901d19680416953-Rolling-bearings---17000\\_1-ES\\_tcm\\_201-121486.pdf](https://www.skf.com/binaries/pub201/Images/0901d19680416953-Rolling-bearings---17000_1-ES_tcm_201-121486.pdf).

$$K = \text{relacion de viscosidades} \left( \frac{v_1}{v_2} \right)$$

$v$  = viscosidad dinamica del lubricante a la temperatura de trabajo (80 °C)

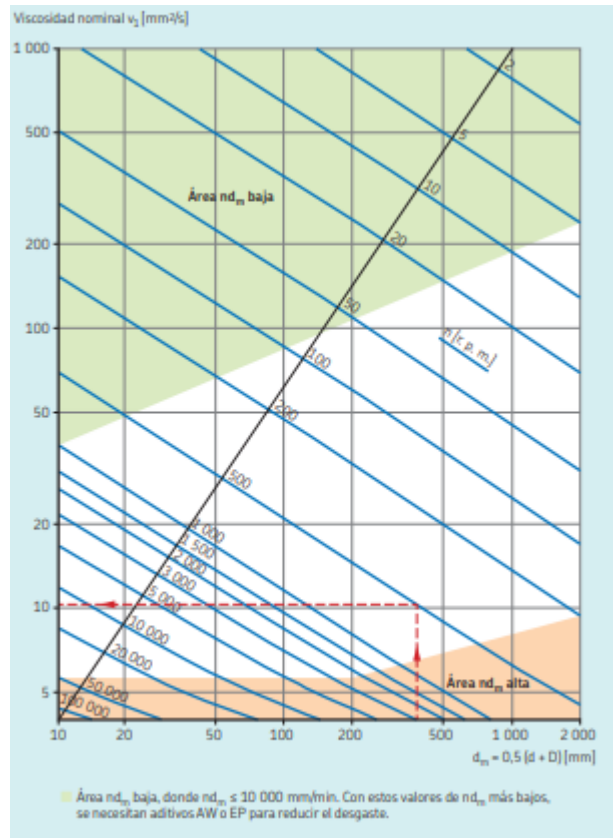
### Ilustración 34. Temperatura de viscosidad según los grados ISO.



Fuente: GRUPO SKF. Rodamientos. En: SKF. [Sitio web]. s.d. p. 100. [Consultado el 20 de diciembre de 2020]. Archivo pdf. Disponible en: [https://www.skf.com/binaries/pub201/Images/0901d19680416953-Rolling-bearings---17000\\_1-ES\\_tcm\\_201-121486.pdf](https://www.skf.com/binaries/pub201/Images/0901d19680416953-Rolling-bearings---17000_1-ES_tcm_201-121486.pdf).

$v_1$  = viscosidad relativa

**Ilustración 35. Viscosidad nominal  $v_1$ .**



Fuente: GRUPO SKF. Rodamientos. En: SKF. [Sitio web]. s.d. p. 101. [Consultado el 20 de diciembre de 2020]. Archivo pdf. Disponible en: [https://www.skf.com/binaries/pub201/Images/0901d19680416953-Rolling-bearings---17000\\_1-ES\\_tcm\\_201-121486.pdf](https://www.skf.com/binaries/pub201/Images/0901d19680416953-Rolling-bearings---17000_1-ES_tcm_201-121486.pdf).

$n =$  velocidad angular del eje en RPM

$d_m =$  diametro medio del rodamiento

**Tabla 28. Valores de  $n_c$  para distintos tipos de contaminación.**

Valores orientativos para el factor $n_c$ para distintos niveles de contaminación		
Condiciones	Factor $n_c^{(1)}$ para rodamientos con diámetro	
	$d_m < 100$	$d_m \geq 100$ mm
<b>Limpieza extrema</b> • Tamaño de las partículas del orden del espesor de la película de lubricante • Condiciones de laboratorio	1	1
<b>Gran limpieza</b> • Aceite lubricante con filtración muy fina • Condiciones típicas: rodamientos sellados lubricados con grasa de por vida	0,8 ... 0,6	0,9 ... 0,8
<b>Limpieza normal</b> • Aceite lubricante con filtración fina • Condiciones típicas: rodamientos con placas de protección lubricados con grasa de por vida	0,6 ... 0,5	0,8 ... 0,6
<b>Contaminación ligera</b> • Condiciones típicas: rodamientos sin sello integral, filtrado grueso, partículas de desgaste y leve ingreso de contaminantes	0,5 ... 0,3	0,6 ... 0,4
<b>Contaminación típica</b> • Condiciones típicas: rodamientos sin sello integral, filtrado grueso, partículas de desgaste e ingreso de partículas desde el exterior	0,3 ... 0,1	0,4 ... 0,2
<b>Contaminación severa</b> • Condiciones típicas: altos niveles de contaminación debido a desgaste excesivo o sellos ineficaces • Disposición de los rodamientos con sellos ineficaces o dañados	0,1 ... 0	0,1 ... 0
<b>Contaminación muy severa</b> • Condiciones típicas: niveles de contaminación tan severas que los valores de $n_c$ están fuera de escala, lo que reduce significativamente la vida útil del rodamiento	0	0

Fuente: GRUPO SKF. Rodamientos. En: SKF. [Sitio web]. s.d. p. 105. [Consultado el 20 de diciembre de 2020]. Archivo pdf. Disponible en: [https://www.skf.com/binaries/pub201/Images/0901d19680416953-Rolling-bearings---17000\\_1-ES\\_tcm\\_201-121486.pdf](https://www.skf.com/binaries/pub201/Images/0901d19680416953-Rolling-bearings---17000_1-ES_tcm_201-121486.pdf).

**Tabla 29. Clasificación de aceites con su viscosidad**

Clasificación de la viscosidad según la norma ISO 3448			
Grado de viscosidad	Viscosidad cinemática límite a 40 °C (105 °F)		
	media	min.	máx.
—	mm <sup>2</sup> /s		
ISO VG 2	2,2	1,98	2,42
ISO VG 3	3,2	2,88	3,52
ISO VG 5	4,6	4,14	5,06
ISO VG 7	6,8	6,12	7,48
ISO VG 10	10	9,00	11,0
ISO VG 15	15	13,5	16,5
ISO VG 22	22	19,8	24,2
ISO VG 32	32	28,8	35,2
ISO VG 46	46	41,4	50,6
ISO VG 68	68	61,2	74,8
ISO VG 100	100	90,0	110
ISO VG 150	150	135	165
ISO VG 220	220	198	242
ISO VG 320	320	288	352
ISO VG 460	460	414	506
ISO VG 680	680	612	748
ISO VG 1 000	1 000	900	1 100
ISO VG 1 500	1 500	1 350	1 650

Fuente: GRUPO SKF. Rodamientos. En: SKF. [Sitio web]. s.d. p. 103. [Consultado el 20 de diciembre de 2020]. Archivo pdf. Disponible en: [https://www.skf.com/binaries/pub201/Images/0901d19680416953-Rolling-bearings---17000\\_1-ES\\_tcm\\_201-121486.pdf](https://www.skf.com/binaries/pub201/Images/0901d19680416953-Rolling-bearings---17000_1-ES_tcm_201-121486.pdf).

➤ Eje de entrada

**Tabla 30. Selección de rodamientos lado izquierdo del eje de entrada.**

modelo	P(N)	L(horas)	n(rpm)	a1	askf	C(N)	D(mm)	d(mm)	dm(mm)	Pu(N)	v1(mm2/s)	Aceite	k	Nc*Pu/Fep	Ccalc(N)	Funciona
61808	232,7698	5500	110	0,25	1	4490	52	40	46	160	130	320	0,40625	0,27494976	11266,0583	NO
6208	232,7698	5500	110	0,25	6	32500	80	40	60	800	100	220	0,45454545	1,37474879	1877,67639	SI
16008	232,7698	5500	110	0,25	1,7	13800	68	40	54	440	120	320	0,375	0,75611183	6627,09313	SI

**Tabla 31. Selección de rodamientos lado derecho del eje de entrada.**

modelo	P(N)	L(horas)	n(rpm)	a1	askf	C(N)	D(mm)	d(mm)	dm(mm)	Pu(N)	v1(mm2/s)	Aceite	k	Nc*Pu/Fep	Ccalc(N)	Funciona
61808	160,733	5500	110	0,25	1,4	4490	52	40	46	160	130	320	0,40625	0,39817586	5556,76943	NO
16008	160,733	5500	110	0,25	2	13800	68	40	54	440	120	320	0,375	1,09498361	3889,7386	SI

➤ Eje intermedio

**Tabla 32. Selección de rodamientos lado izquierdo del eje intermedio.**

modelo	P(N)	L(horas)	n(rpm)	a1	askf	C(N)	D(mm)	d(mm)	dm(mm)	Pu(N)	v1(mm2/s)	Aceite	k	Nc*Pu/Fep	Ccalc(N)	Funciona
61904	110,259	5500	2172,8	0,25	3,5	6370	37	20	28,5	156	17	32	0,53125	0,5659402	30118,0208	NO
6204	110,259	5500	2172,8	0,25	6,5	13500	47	20	33,5	280	15	32	0,46875	1,01579009	16217,3958	NO
6004	110,259	5500	2172,8	0,25	13	9950	42	20	31	212	17	32	0,53125	0,76909821	8108,69791	SI

**Tabla 33. Selección de rodamientos lado derecho del eje intermedio.**

modelo	P(N)	L(horas)	n(rpm)	a1	askf	C(N)	D(mm)	d(mm)	dm(mm)	Pu(N)	v1(mm2/s)	Aceite	k	Nc*Pu/Fep	Ccalc(N)	Funciona
6204	56,9771	5500	2172,8	0,25	10	13500	47	20	33,5	280	15	32	0,46875	1,96570201	5447,29337	SI
6004	56,9771	5500	2172,8	0,25	22	9950	42	20	31	212	17	32	0,53125	1,48831724	2476,04244	SI
61904	56,9771	5500	2172,8	0,25	10	6370	37	20	28,5	156	17	32	0,53125	1,09517683	5447,29337	SI

➤ Eje salida

**Tabla 34. Selección de rodamientos lado izquierdo del eje de salida.**

modelo	P(N)	L(horas)	n(rpm)	a1	askf	C(N)	D(mm)	d(mm)	dm(mm)	Pu(N)	v1(mm2/s)	Aceite	k	Nc*Pu/Fep	Ccalc(N)	Funciona
61904	110,259	5500	2172,8	0,25	3,5	6370	37	20	28,5	156	17	32	0,53125	0,5659402	30118,0208	NO
6204	110,259	5500	2172,8	0,25	6,5	13500	47	20	33,5	280	15	32	0,46875	1,01579009	16217,3958	NO
6304	110,259	5500	2172,8	0,25	22	16800	52	20	36	335	14	22	0,63636364	1,21532029	4791,50331	SI

**Tabla 35. Selección de rodamientos lado derecho del eje de salida.**

modelo	P(N)	L(horas)	n(rpm)	a1	askf	C(N)	D(mm)	d(mm)	dm(mm)	Pu(N)	v1(mm2/s)	Aceite	k	Nc*Pu/Fep	Ccalc(N)	Funciona
6204	56,9771	5500	2172,8	0,25	10	13500	47	20	33,5	280	15	32	0,46875	1,96570201	5447,29337	SI

Con esto se seleccionan los rodamientos idóneos en cada una de las partes de la caja siguiendo la metodología indicada por el SKF.

- Ejes en la caja amplificadora de las manos

Aplicando el mismo proceso que en los ejes de la caja para las piernas se puede encontrar lo siguiente:

**Tabla 36. Diámetro de los ejes de la caja amplificadora de las manos**

Eje	Dmin (m)	D (m)
Entrada	0,02933	0,03
Intermedio 1	0,02171	0,03
Intermedio 2	0,016	0,02
Salida	0,01189	0,02

- Eje de entrada

Reacciones que se generan con vista en el plano XY.

$$Fr1 = F * \text{sen}(\phi)$$

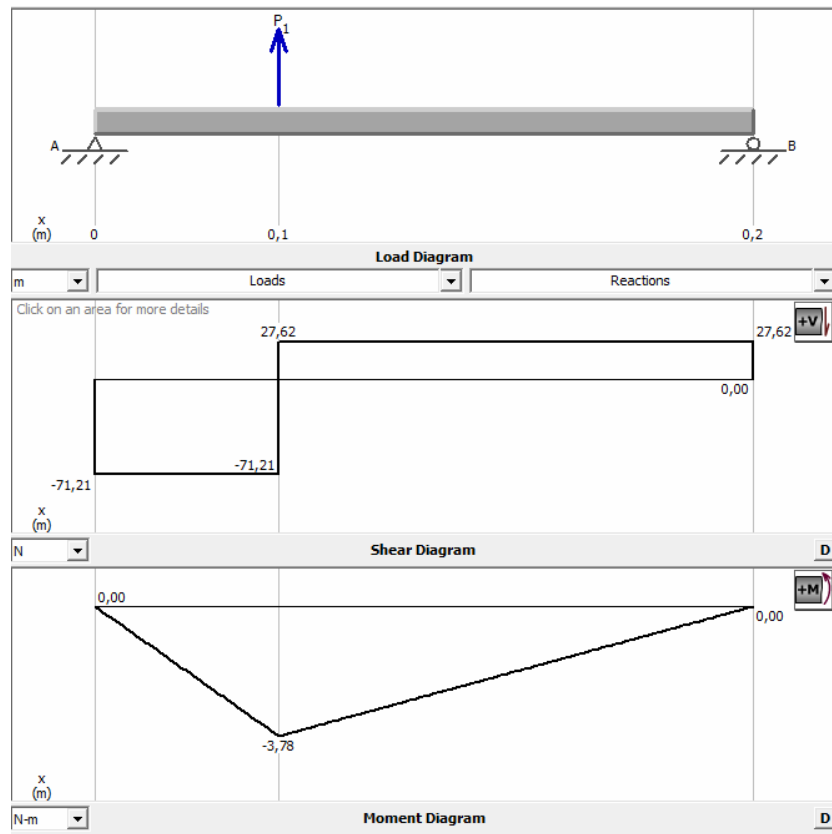
$$Fr1 = 288,943 * \text{sen}(20)$$

$$Fr1 = 98,8243 \text{ N}$$

$$R_{ay} = 71,21 \text{ N}$$

$$R_{by} = 27,62 \text{ N}$$

**Ilustración 36. Diagrama de cortante y momento eje entrada caja para los planos xy**



Reacciones que se generan con vista en el plano XZ.

$$F_{t1} = F * \cos(\varnothing)$$

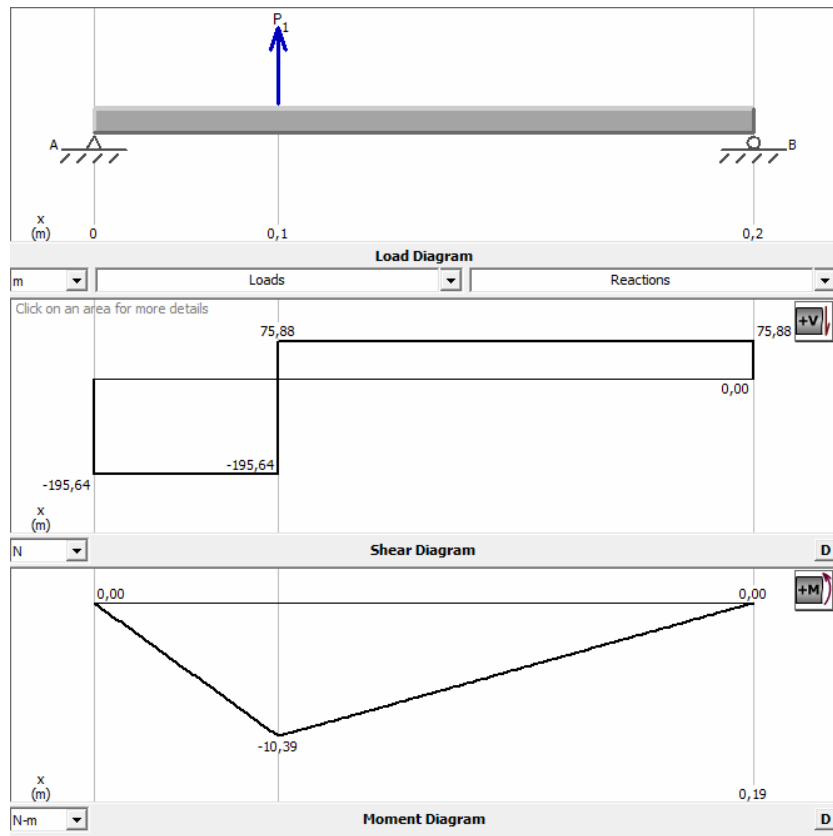
$$F_{t1} = 288,943 * \cos(20)$$

$$F_{t1} = 271,5176 \text{ N}$$

$$R_{az} = 195,63 \text{ N}$$

$$R_{bz} = 75,88 \text{ N}$$

**Ilustración 37. Diagrama de cortante y momento eje entrada caja para los manos plano xz**



$$R_a = \sqrt{R_{ay}^2 + R_{az}^2}$$

$$R_a = \sqrt{71,21^2 + 195,63^2}$$

$$R_a = 208,1873 \text{ N}$$

$$R_b = \sqrt{R_{by}^2 + R_{bz}^2}$$

$$R_b = \sqrt{27,62^2 + 75,88^2}$$

$$R_b = 80,7504 \text{ N}$$

➤ Eje intermedio 1

Reacciones que se generan con vista en el plano XY.

$$Fr2 = F2 * \text{sen}(\emptyset)$$

$$Fr2 = 288,943 * \text{sen}(20)$$

$$Fr2 = 98,8243 \text{ N}$$

$$Fr3 = F3 * \text{sen}(\emptyset)$$

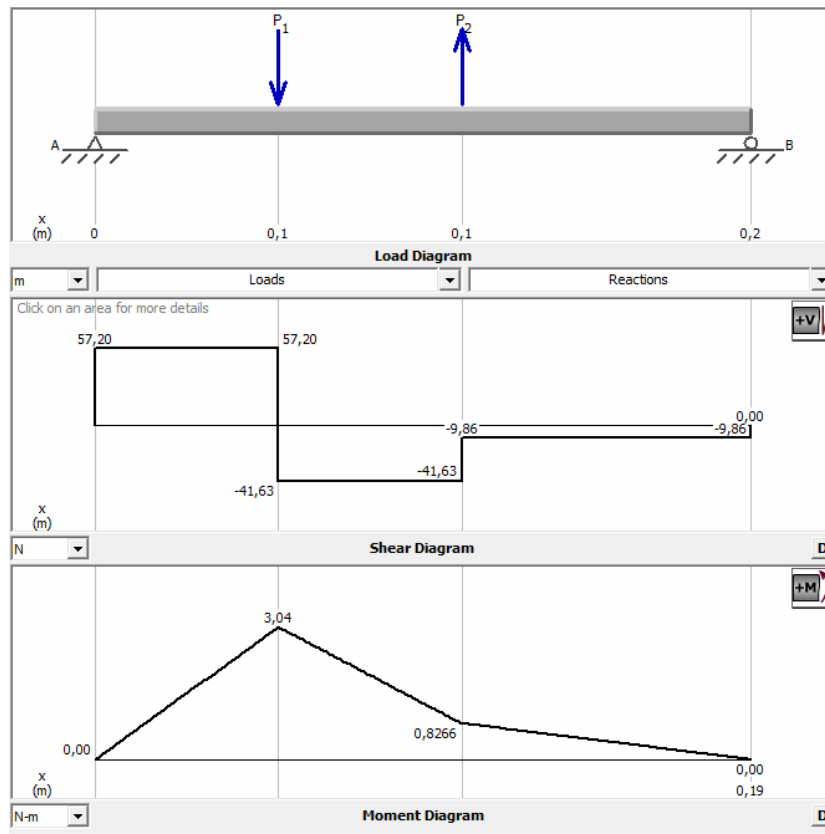
$$Fr3 = 92,874 * \text{sen}(20)$$

$$Fr3 = 31,764 \text{ N}$$

$$Ra2y = 57,20 \text{ N}$$

$$Rb2y = 9,86 \text{ N}$$

**Ilustración 38. Diagrama de cortante y momento eje intermedio 1 caja para los manos plano xy**



Reacciones que se generan con vista en el plano XZ.

$$Ft2 = F2 * \cos(\emptyset)$$

$$Ft2 = 288,943 * \cos(20)$$

$$Ft2 = 271,5176 \text{ N}$$

$$Ft3 = F3 * \cos(\emptyset)$$

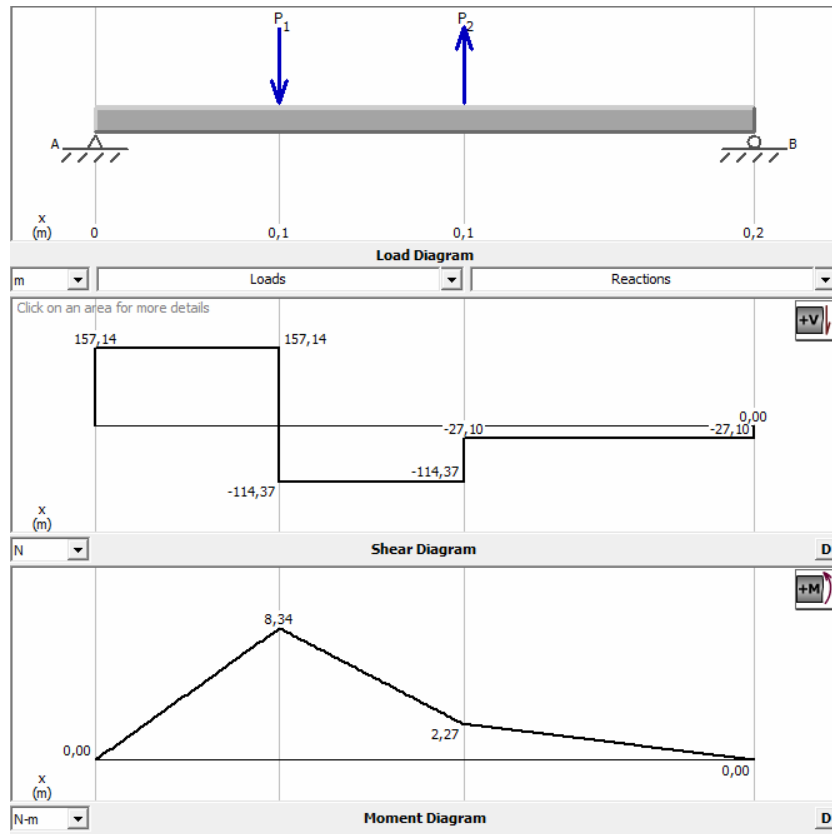
$$Ft3 = 92,874 * \cos(20)$$

$$Ft3 = 87,2730 \text{ N}$$

$$Ra2z = 157,14 \text{ N}$$

$$Rb2z = 27,10 \text{ N}$$

**Ilustración 39. Diagrama de cortante y momento eje intermedio 1 caja para los manos plano xz**



$$Ra2 = \sqrt{Ra2y^2 + Ra2z^2}$$

$$Ra2 = \sqrt{57,20^2 + 157,14^2}$$

$$Ra2 = 167,2268 \text{ N}$$

$$Rb2 = \sqrt{Rb2y^2 + Rb2z^2}$$

$$Rb2 = \sqrt{9,86^2 + 27,10^2}$$

$$Rb2 = 28,83 \text{ N}$$

➤ Eje intermedio 2

Reacciones que se generan con vista en el plano XY.

$$Fr4 = F2 * \text{sen}(\emptyset)$$

$$Fr4 = 92,874 * \text{sen}(20)$$

$$Fr4 = 31,7647 \text{ N}$$

$$Fr5 = F3 * \text{sen}(\emptyset)$$

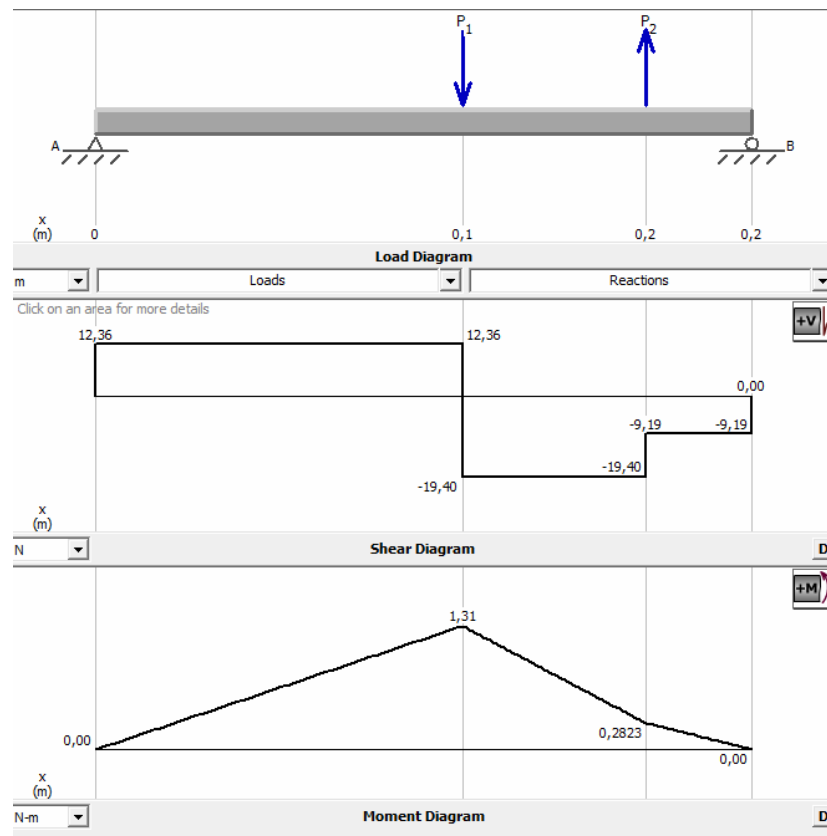
$$Fr5 = 29,852 * \text{sen}(20)$$

$$Fr5 = 10,2099 \text{ N}$$

$$Ra3y = 12,36 \text{ N}$$

$$Rb3y = 9,19 \text{ N}$$

**Ilustración 40. Diagrama de cortante y momento eje intermedio 2 caja para los manos plano xy**



Reacciones que se generan con vista en el plano XZ.

$$Ft2 = F2 * \cos(\emptyset)$$

$$Ft2 = 92,874 * \cos(20)$$

$$Ft2 = 87,273 \text{ N}$$

$$Ft3 = F3 * \cos(\emptyset)$$

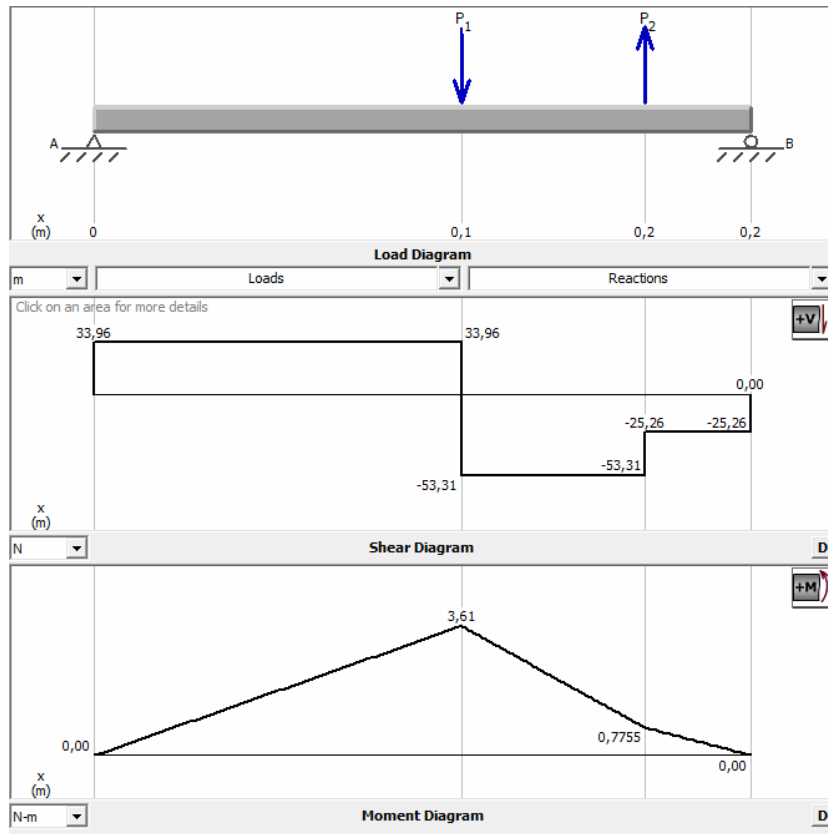
$$Ft3 = 29,852 * \cos(20)$$

$$Ft3 = 28,0517 \text{ N}$$

$$Ra3z = 33,96 \text{ N}$$

$$Rb3z = 25,26 \text{ N}$$

**Ilustración 41. Diagrama de cortante y momento eje intermedio 1 caja para los manos plano xz**



$$Ra3 = \sqrt{Ra3y^2 + Ra3z^2}$$

$$Ra3 = \sqrt{12,36^2 + 33,96^2}$$

$$Ra3 = 36,1393 \text{ N}$$

$$Rb3 = \sqrt{Rb3y^2 + Rb3z^2}$$

$$Rb3 = \sqrt{9,19^2 + 25,26^2}$$

$$Rb3 = 26,8798 \text{ N}$$

➤ Eje Salida

Reacciones que se generan con vista en el plano XY.

$$Fr3 = 18,49N$$

$$Fr4 = F3 * \text{sen}(\emptyset)$$

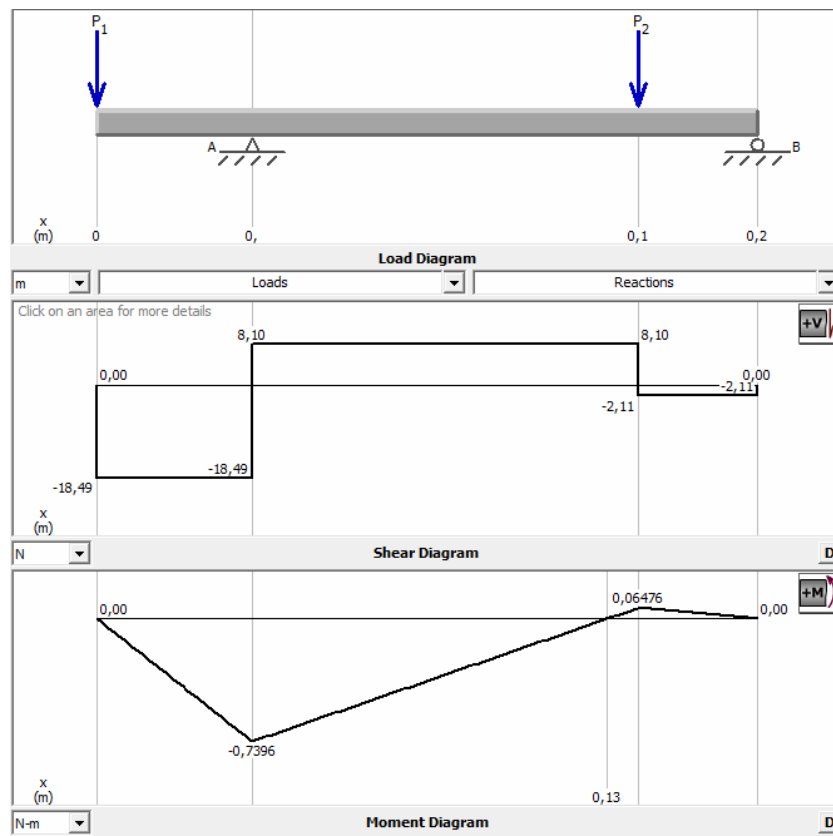
$$Fr4 = 29,852 * \text{sen}(20)$$

$$Fr4 = 10,2099 N$$

$$Ra4y = 26,59 N$$

$$Rb4y = 2,11 N$$

**Ilustración 42. Diagrama de cortante y momento eje salida caja para los manos plano xy**



Reacciones que se generan con vista en el plano XZ.

$$Ft4 = F3 * \cos(\phi)$$

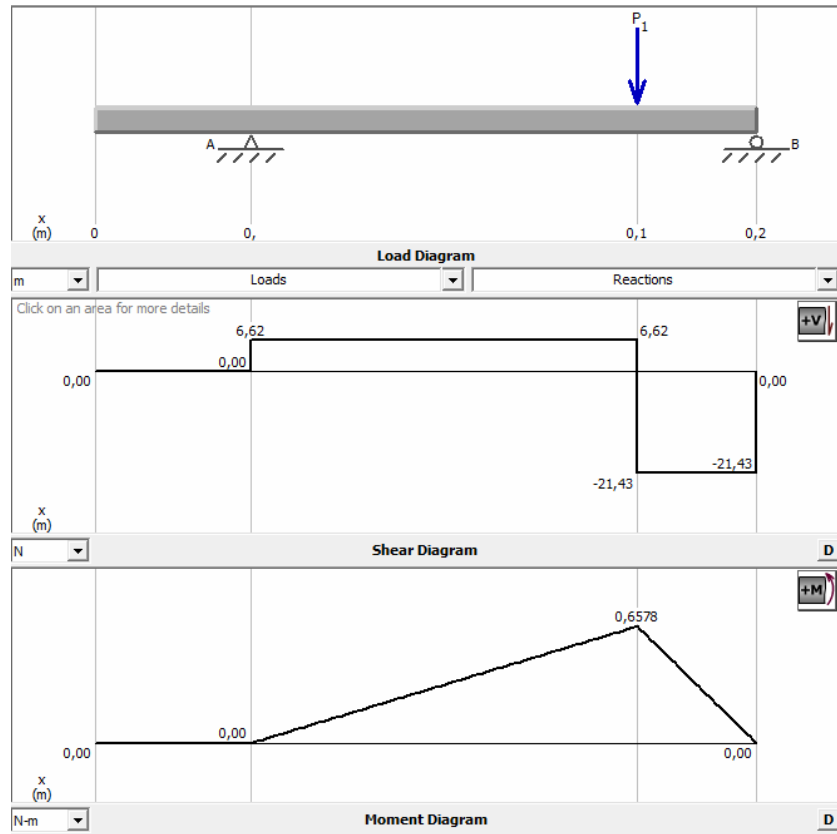
$$Ft4 = 29,852 * \cos(20)$$

$$Ft4 = 28,0517 \text{ N}$$

$$Ra4z = 6,62 \text{ N}$$

$$Rb4z = 21,43 \text{ N}$$

**Ilustración 43. Diagrama de cortante y momento eje salida caja para los manos plano xz**



$$Ra4 = \sqrt{Ra4y^2 + Ra4z^2}$$

$$Ra4 = \sqrt{26,59^2 + 6,62^2}$$

$$Ra4 = 27,4016 \text{ N}$$

$$Rb4 = \sqrt{Rb4y^2 + Rb4z^2}$$

$$Rb4 = \sqrt{2,11^2 + 21,43^2}$$

$$Rb4 = 21,5336 \text{ N}$$

Ejes por concepto de fatiga

- Eje de entrada

**Tabla 37. Cálculo de kf eje de entrada caja manos.**

Seccion	D	d	D/d	r	r/d	Kt	a	a/r	q	Kf	
1	-		30	Rodamiento	-	-		0,306	-	-	1
2	-		30	Chaveta	0,75	0,025	2,35	0,306	0,408	0,71022727	1,95880682
3		39	30	1,3	0,75	0,025	2,6	0,306	0,408	0,71022727	2,13636364
4		39	30	1,3	0,75	0,025	2,6	0,306	0,408	0,71022727	2,13636364
5	-		30	Rodamiento	-	-		0,306	-	-	1

**Tabla 38. Cálculo factores eje de entrada caja piernas.**

Seccion	M(N.m)	T(N.m)	d(m)	ka	kb	kc	kd	ke	kf	Sigma_E	N	
1	0	25,69	0,03	0,862	0,8636091	1	1	1	0,814	1	156,036468	21,1521458
2	7,9554	25,69	0,03	0,862	0,8636091	1	1	1	0,814	1,95880682	79,6589366	16,5418372
3	11,0565	0	0,039	0,862	0,83970216	1	1	1	0,814	2,13636364	71,0164561	37,405551
4	7,826	0	0,039	0,862	0,83970216	1	1	1	0,814	2,13636364	71,0164561	52,8482404
5	0	0	0,03	0,862	0,8636091	1	1	1	0,814	1	156,036468	infinito

➤ Eje intermedio 1

**Tabla 39. Cálculo de kf eje intermedio 1 caja piernas.**

Seccion	D	d	D/d	r	r/d	Kt	a	a/r	q	Kf	
1	-		30	Rodamiento	-	-		0,306	-	-	1
2	-		30	Chaveta	0,75	0,025	2,35	0,306	0,408	0,71022727	1,95880682
3		39	30	1,3	0,75	0,025	2,6	0,306	0,408	0,71022727	2,13636364
4		39	30	1,3	0,75	0,025	2,6	0,306	0,408	0,71022727	2,13636364
5	-		30	Chaveta	0,75	0,025	2,35	0,306	0,408	0,71022727	1,95880682
6	-		30	Rodamiento	-	-		-	-	-	1

**Tabla 40. Cálculo factores eje intermedio 1 caja piernas.**

Seccion	M(N.m)	T(N.m)	d(m)	ka	kb	kc	kd	ke	kf	Sigma_E	N	
1	0	0	0,03	0,862	0,8636091	1	1	1	0,814	1	156,036468	infinito
2	6,6867	8,257	0,03	0,862	0,8636091	1	1	1	0,814	1,95880682	79,6589366	28,470316
3	8,8767	8,257	0,039	0,862	0,83970216	1	1	1	0,814	2,13636364	71,0164561	44,3455176
4	5,847	8,257	0,039	0,862	0,83970216	1	1	1	0,814	2,13636364	71,0164561	63,5371853
5	2,3408	8,257	0,03	0,862	0,8636091	1	1	1	0,814	1,95880682	79,6589366	53,1655369
6	0	0	0,03	0,862	0,8636091	1	1	1	0,814	1	156,036468	infinito

➤ Eje intermedio 2

**Tabla 41. Cálculo de kf eje intermedio 2 caja piernas.**

Seccion	D	d	D/d	r	r/d	Kt	a	a/r	q	Kf	
1	-		20	Rodamiento	-	-		0,306	-	-	1
2	-		20	Chaveta	0,75	0,0375	2,35	0,306	0,408	0,71022727	1,95880682
3		26	20		1,3	0,0375	2,3	0,306	0,408	0,71022727	1,92329545
4		26	20		1,3	0,0375	2,3	0,306	0,408	0,71022727	1,92329545
5	-		20	Chaveta	0,75	0,0375	2,35	0,306	0,408	0,71022727	1,95880682
6	-		20	Rodamiento	-	-	-	-	-	-	1

**Tabla 42. Cálculo factores eje intermedio 2 caja piernas.**

Seccion	M(N.m)	T(N.m)	d(m)	ka	kb	kc	kd	ke	kf	Sigma_E	N
1	0	0	0	0,02	0,862	0,90190122	1	1	0,814	1	162,95507 infinito
2	2,0972	2,654	0,02	0,862	0,90190122	1	1	0,814	1,95880682	83,1909856	27,7140117
3	2,8205	2,654	0,026	0,862	0,87693425	1	1	0,814	1,92329545	82,381545	47,1415449
4	3,862	2,654	0,026	0,862	0,87693425	1	1	0,814	1,92329545	82,381545	35,4813192
5	1,9211	2,654	0,02	0,862	0,90190122	1	1	0,814	1,95880682	83,1909856	29,6667288
6	0	0	0,02	0,862	0,90190122	1	1	0,814	1	162,95507	infinito

➤ Eje salida

**Tabla 43. Cálculo de kf eje salida caja piernas.**

Seccion	D	d	D/d	r	r/d	Kt	a	a/r	q	Kf	
1	-		20	Rodamiento	-	-		0,306	-	-	1
2		26	20		1,3	0,0375	2,3	0,306	0,408	0,71022727	1,92329545
3		26	20		1,3	0,0375	2,3	0,306	0,408	0,71022727	1,92329545
4	-		20	Chaveta	0,75	0,0375	2,35	0,306	0,408	0,71022727	1,95880682
5	-		20	Rodamiento	-	-	-	0,306	-	-	1

**Tabla 44. Cálculo factores eje salida caja piernas.**

Seccion	M(N.m)	T(N.m)	d(m)	ka	kb	kc	kd	ke	kf	Sigma_E	N
1	0	0	0,02	0,862	0,90190122		1	1	0,814	1	162,95507 infinito
2	0,4745	0	0,026	0,862	0,87693425		1	1	0,814	1,92329545	82,381545 299,581278
3	0,6609	0	0,026	0,862	0,87693425		1	1	0,814	1,92329545	82,381545 215,087482
4	0,490	0,853	0,02	0,862	0,90190122		1	1	0,814	1,95880682	83,1909856 108,982708
5	0	0,853	0,02	0,862	0,90190122		1	1	0,814	1	162,95507 infinito

Se comprueba que los ejes funcionan correctamente y que por lo tanto el diseño va a soportar la fatiga el tiempo que se considera necesario.

Selección de rodamientos

- Eje de entrada

**Tabla 45. Selección de rodamientos lado izquierdo del eje de entrada manos.**

modelo	P(N)	L(horas)	n(rpm)	a1	askf	C(N)	D(mm)	d(mm)	dm(mm)	Pu(N)	v1(mm2/s)	Aceite	k	Nc*Pu/Fep	Ccalc(N)	Funciona
6306 ETN9	208,1873	5500	70	0,25	1,9	32500	72	30	51	735	190	460	0,41304348	1,41218989	3374,82571	SI
6206	208,1873	5500	70	0,25	0,5	20300	62	30	46	475	200	680	0,29411765	0,91263972	12824,3377	SI

**Tabla 46. Selección de rodamientos lado derecho del eje de entrada manos.**

modelo	P(N)	L(horas)	n(rpm)	a1	askf	C(N)	D(mm)	d(mm)	dm(mm)	Pu(N)	v1(mm2/s)	Aceite	k	Nc*Pu/Fep	Ccalc(N)	Funciona
6206	80,7504	5500	70	0,25	2,2	20300	62	30	46	475	200	680	0,29411765	2,35292952	1130,5056	SI
6006	80,7504	5500	70	0,25	2	13800	55	30	42,5	355	210	680	0,30882353	1,75850522	1243,55616	SI

- Eje intermedio 1

**Tabla 47. Selección de rodamientos lado izquierdo del eje intermedio 1 manos.**

modelo	P(N)	L(horas)	n(rpm)	a1	askf	C(N)	D(mm)	d(mm)	dm(mm)	Pu(N)	v1(mm2/s)	Aceite	k	Nc*Pu/Fep	Ccalc(N)	Funciona
6206	167,2268	5500	217,8	0,25	11	20300	62	30	46	475	75	150	0,5	1,13618152	1456,87988	SI
6006	167,2268	5500	217,8	0,25	7	13800	55	30	42,5	355	75	150	0,5	0,84914619	2289,38267	SI

**Tabla 48. Selección de rodamientos lado derecho del eje intermedio 1 manos.**

modelo	P(N)	L(horas)	n(rpm)	a1	askf	C(N)	D(mm)	d(mm)	dm(mm)	Pu(N)	v1(mm2/s)	Aceite	k	Nc*Pu/Fep	Ccalc(N)	Funciona
6006	28,83	5500	217,8	0,25	45	13800	55	30	42,5	355	75	150		0,5	4,9254249	61,396368 SI

➤ Eje intermedio 2

**Tabla 49. Selección de rodamientos lado izquierdo del eje intermedio 2 manos.**

modelo	P(N)	L(horas)	n(rpm)	a1	askf	C(N)	D(mm)	d(mm)	dm(mm)	Pu(N)	v1(mm2/s)	Aceite	k	Nc*Pu/Fep	Ccalc(N)	Funciona
6204	36,1393	5500	677,5	0,25	11	13500	47	20	33,5	280	38	100		0,38	3,09911924	979,37503 SI
61904	36,1393	5500	677,5	0,25	7	6370	37	20	28,5	156	40	100		0,4	1,72665215	1539,0179 SI
6004	26,8798	5500	677,5	0,25	11	9950	42	20	31	212	38	100		0,38	3,15478538	728,44258 SI

**Tabla 50. Selección de rodamientos lado derecho del eje intermedio 2 manos.**

modelo	P(N)	L(horas)	n(rpm)	a1	askf	C(N)	D(mm)	d(mm)	dm(mm)	Pu(N)	v1(mm2/s)	Aceite	k	Nc*Pu/Fep	Ccalc(N)	Funciona
61904	26,8798	5500	677,5	0,25	7	6370	37	20	28,5	156	40	100		0,4	2,32144584	1144,69548 SI

➤ Eje salida

**Tabla 51. Selección de rodamientos lado izquierdo del eje de salida manos.**

modelo	P(N)	L(horas)	n(rpm)	a1	askf	C(N)	D(mm)	d(mm)	dm(mm)	Pu(N)	v1(mm2/s)	Aceite	k	Nc*Pu/Fep	Ccalc(N)	Funciona
61904	27,4016	5500	2108	0,25	50	6370	37	20	28,5	156	18	32		0,5625	2,27723929	508,310641 SI
61804	27,4016	5500	2108	0,25	20	4030	32	20	26	104	19	32		0,59375	1,51815952	1270,7766 SI

**Tabla 52. Selección de rodamientos lado derecho del eje de salida manos.**

modelo	P(N)	L(horas)	n(rpm)	a1	askf	C(N)	D(mm)	d(mm)	dm(mm)	Pu(N)	v1(mm2/s)	Aceite	k	Nc*Pu/Fep	Ccalc(N)	Funciona
61904	21,5336	5500	2108	0,25	50	6370	37	20	28,5	156	18	32		0,5625	2,89779693	399,456893 SI
61804	21,5336	5500	2108	0,25	20	4030	32	20	26	104	19	32		0,59375	1,93186462	998,642234 SI

Con esto se seleccionan los rodamientos idóneos en cada una de las partes de la caja de las manos siguiendo la metodología indicada por el SKF.

- Carcasa del multiplicador de velocidad

Al tratarse de una aplicación en la cual la más mínima desalineación en los ejes podría ocasionar un desgaste excesivo en los engranajes es recomendable establecer un ancho de las cajas considerable, por lo cual se establece este valor en 10 mm<sup>29</sup>, con esto se asegura que aunque se presenten pequeños golpes no se perderá la forma y se producirán desalineaciones. Además dada la complejidad de la pieza la forma más efectiva de construirla es a través de la fundición, para este proceso se usara hierro dada su resistencia y que es accesible en el mercado nacional.

- Selección de unidades a torsión

Las unidades de torsión que se usan son chavetas las cuales se seleccionan según la norma DIN 6885, los datos se relacionan en la siguiente tabla, debido a que la torsión en el eje es muy baja, se opta por realizar las chavetas con el ancho del engranaje que son valores considerables de

---

<sup>29</sup> *Ibíd.* P.22.

#### Ilustración 44. Valores para selección de chavetas.

Chaveta Paralela de Ajuste (fixas e móveis) DIN 6885

Chaveta Paralela de Ajuste - Fixa

Chaveta Paralela de Ajuste - Móvel

EIXO

Cubo

Fixa

Móvel

de	D	ate	b	h	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	de	D	ate	b	h	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>
6	8	2	2	2	1,2	D + 1	85	95	25	14	9	9	D + 5,4
8	10	3	3	3	1,6	D + 1,4	95	110	28	16	10	10	D + 6,4
10	12	4	4	4	2,5	D + 1,8	110	130	32	18	11	11	D + 7,4
12	17	5	5	5	3	D + 2,3	130	150	36	20	12	12	D + 8,4
17	22	6	6	6	3,5	D + 2,8	150	170	40	22	13	13	D + 9,4
22	30	8	7	7	4	D + 3,3	170	200	45	25	15	15	D + 10,4
30	38	10	8	8	5	D + 3,3	200	230	50	28	17	17	D + 11,4
38	44	12	8	8	5	D + 3,3	230	260	56	32	20	20	D + 12,4
44	50	14	9	9	5,5	D + 3,8	260	290	63	32	20	20	D + 12,4
50	58	16	10	10	6	D + 4,3	290	330	70	36	22	22	D + 14,4
58	65	18	11	11	7	D + 4,4	330	380	80	40	25	25	D + 15,4
65	75	20	12	12	7,5	D + 4,9	380	440	90	45	28	28	D + 17,4
75	85	22	14	14	9	D + 5,4	440	500	100	50	31	31	D + 19,5

Fuente: Norma DIN 6885.

Para cada engranaje se decide colocar una chaveta que se selecciona de acuerdo al diámetro del eje:

- Para la caja de las piernas:

Para el eje de entrada se coloca una chaveta así (d=40 mm):

- Longitud(L): 38,1 mm
- Ancho(b): 12 mm
- Profundidad en el eje(t<sub>1</sub>): 5 mm
- Profundidad en el engranaje(t<sub>1</sub>): 3,3 mm
- Alto(h): 8 mm

Para el eje intermedio se colocan dos chavetas(d=30 mm);, la primera en el engranaje de 36 dientes:

- Longitud(L): 31,75 mm
- Ancho(b): 10 mm
- Profundidad en el eje(t1): 5 mm
- Profundidad en el engranaje(t1): 3,3 mm
- Alto(h): 8 mm

La segunda chaveta es para el engranaje de 160 dientes:

- Longitud(L): 38,1 mm
- Ancho(b): 10 mm
- Profundidad en el eje(t1): 5 mm
- Profundidad en el engranaje(t1): 3,3 mm
- Alto(h): 8 mm

Para el eje de salida se coloca una chaveta así (d=20mm):

- Longitud(L): 31,75 mm
- Ancho(b): 6 mm
- Profundidad en el eje(t1): 3,5 mm
- Profundidad en el engranaje(t1): 2,8 mm
- Alto(h): 6 mm

- Para la caja de las piernas:

Para el eje de entrada se coloca una chaveta así (d=30mm):

- Longitud(L): 38,1 mm
- Ancho(b): 10 mm
- Profundidad en el eje(t1): 5 mm

- Profundidad en el engranaje(t1): 3,3 mm
- Alto(h): 8 mm

Para el eje intermedio se colocan dos chavetas ( $d=30\text{mm}$ ), la primera en el engranaje de 36 dientes:

- Longitud(L): 31,75 mm
- Ancho(b): 10 mm
- Profundidad en el eje(t1): 5 mm
- Profundidad en el engranaje(t1): 3,3 mm
- Alto(h): 8 mm

La segunda chaveta es para el engranaje de 112 dientes:

- Longitud(L): 38,1 mm
- Ancho(b): 10 mm
- Profundidad en el eje(t1): 5 mm
- Profundidad en el engranaje(t1): 3,3 mm
- Alto(h): 8 mm

Para el eje intermedio 2 se colocan dos chavetas ( $d=20\text{mm}$ ), la primera en el engranaje de 36 dientes:

- Longitud(L): 31,75 mm
- Ancho(b): 6 mm
- Profundidad en el eje(t1): 3,5 mm
- Profundidad en el engranaje(t1): 32,8 mm
- Alto(h): 6 mm

La segunda chaveta es para el engranaje de 112 dientes:

- Longitud(L): 38,1 mm
- Ancho(b): 6 mm
- Profundidad en el eje(t1): 3,5 mm
- Profundidad en el engranaje(t1): 2,8 mm
- Alto(h): 6 mm

Para el eje de salida se coloca una chaveta así (d=20mm):

- Longitud(L): 31,75 mm
- Ancho(b): 6 mm
- Profundidad en el eje(t1): 3,5 mm
- Profundidad en el engranaje(t1): 2,8 mm
- Alto(h): 6 mm

- Selección de arandelas elásticas

Las arandelas que se van a usar como medio para fijar los engranajes son arandelas DIN 471, estas cumplen con una normativa que determina su espesor y el valor del diámetro para realizar la ranura, estas medidas se encuentran por el diámetro del eje, para el sistema se requieren:

**Tabla 53. Anelli Elastici per alberi retaining ring for shafts**

Diámetro del eje(mm)	Diámetro para la ranura(mm)	Espesor(mm)
20	19	1,2
30	28,6	1,5
40	37,5	1,75

Fuente: Norma DIN 471.

- Selección polea

Para la selección de la polea se necesita una con la misma cantidad de ranuras que el alternador, las cuales son 2 además ya que la velocidad es la adecuada no es necesario un aumento de velocidad, por lo que una polea del mismo diámetro que la polea del alternador sería suficiente, es por esto que se opta por seleccionar la polea:

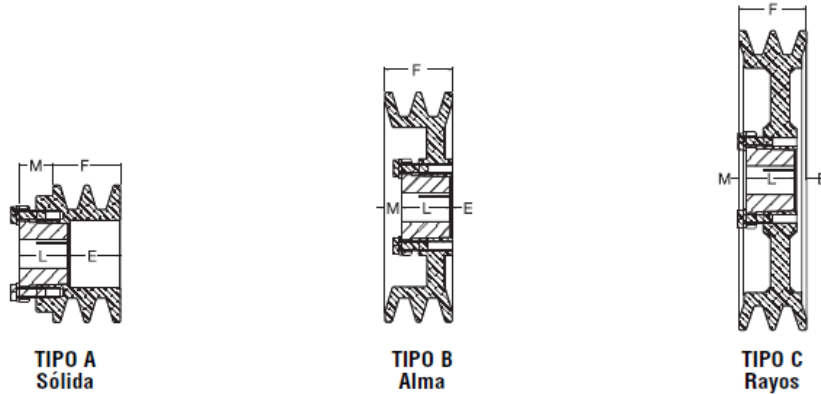
**Tabla 54. Diámetro mínimo de la polea**

POTENCIA DEL MOTOR	RPM DEL MOTOR					
	575	695	870	1160	1750	3450
.50	2.50	2.50	2.50	—	—	—
.75	3.00	2.50	2.50	2.50	—	—
1.00	3.00	3.00	2.50	2.50	2.25	—
1.50	3.00	3.00	3.00	2.50	2.50	2.25
2.00	3.75	3.00	3.00	2.50	2.50	2.50
3.00	4.50	3.75	3.00	3.00	2.50	2.50
5.00	4.50	4.50	3.75	3.00	3.00	2.50
7.50	4.25	4.50	4.50	3.75	3.00	3.00
10.00	6.00	5.25	4.50	4.50	3.75	3.00
15.00	6.75	6.00	5.25	4.50	4.50	3.75
20.00	8.25	6.75	6.00	5.25	4.50	4.50
25.00	9.00	8.25	6.75	6.00	4.50	4.50★
★30.00	10.00	9.00	6.75	6.75	5.25	—
40.00	10.00	10.00	8.25	6.75	6.00	—
50.00	11.00	10.00	9.00	8.25	6.75	—
60.00	12.00	11.00	10.00	9.00	7.50	—
75.00	14.00	13.00	10.00	10.00	9.00	—
100.00	18.00	15.00	13.00	13.00	10.00	—
125.00	20.00	18.00	15.00	13.00	11.00	—
150.00	22.00	20.00	18.00	13.00	—	—
200.00	22.00	22.00	22.00	—	—	—
250.00	22.00	22.00	—	—	—	—
300.00	27.00	27.00	—	—	—	—

Fuente: MARTIN SPROCKET & GEAR INC. El gran catálogo 4000. En: MOHER. [Sitio web]. Querétaro: Moher. Catálogos. p. 238. [Consultado el 18 de diciembre de 2020]. Archivo pdf. Disponible en: <http://www.moher.mx/catalogos/13.pdf>.

El diámetro mínimo que debería poseer la polea es de 57,15 mm por lo que el valor que se necesita de la polea es posible de usar así que se busca una polea que satisfaga ese valor:

### Ilustración 45. Poleas de 2 ranuras



Dimensiones en pulgadas, peso en libras

Número de Parte	DE	Diámetro de Paso		Tipo	Buje	Barreno Máx. del Buje	F	E	Largo Total (L)	M	Peso sin Buje
		Datum Bandas A(4L)	Bandas 3L								
2AK30-H	3.05	2.80	2.46	A	H	1½	1¾	1	1¼	7/8	1.7
2AK32-H	3.25	3.00	2.66	A	H	1½	1¾	1	1¼	7/8	1.9
2AK34-H	3.45	3.20	2.86	A	H	1½	1¾	9/16	1¼	7/16	1.7
2AK39-H	3.75	3.50	3.16	A	H	1½	1¾	9/16	1¼	7/16	2.0
2AK41H	3.95	3.70	3.36	B	H	1½	1¾	7/16	1¼	1/2	2.2

Fuente: MARTIN SPROCKET & GEAR INC. El gran catálogo 4000. En: MOHER. [Sitio web]. Querétaro: Moher. Catálogos. p. 286. [Consultado el 22 de diciembre de 2020]. Archivo pdf. Disponible en: <http://www.moher.mx/catalogos/13.pdf>.

Aquí también se relaciona el valor del cuñero en función del diámetro del eje:

Tabla 55. Medidas de cuñero en función del diámetro

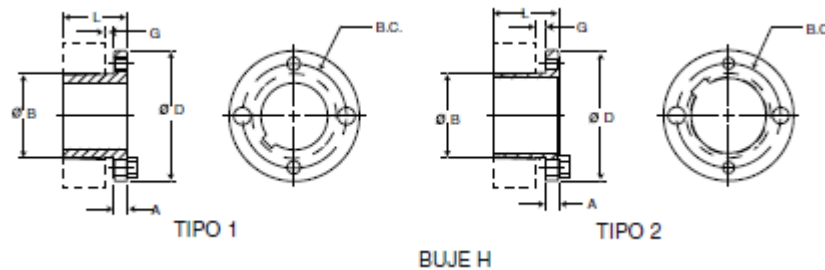
#### Bujes MST® "H" – Barreno Milimétrico

Diámetro del Eje	Ancho x Profundidad del Cuñero	Diámetro del Eje	Ancho x Profundidad del Cuñero
10	NINGUNO	22	6 x 2.8
11	NINGUNO	24	8 x 3.3
12	NINGUNO	25	8 x 3.3
14	5 x 2.3	28	8 x 3.3
16	5 x 2.3	30	8 x 3.3
18	6 x 2.8	32	10 x 1.3
19	6 x 2.8	35	10 x 0.3
20	6 x 2.8	36	10 x 1.3
		38	10 x 0.3

Fuente: MARTIN SPROCKET & GEAR INC. El gran catálogo 4000. En: MOHER. [Sitio web]. Querétaro: Moher. Catálogos. p. 286. [Consultado el 23 de diciembre de 2020]. Archivo pdf. Disponible en: <http://www.moher.mx/catalogos/13.pdf>.

De esta selección se proporciona de forma directa el buje que debe ser adquirido con el fin de cumplir esta aplicación:

#### Ilustración 46. Bujes para poleas



#### Especificaciones de los Bujes MST®

No. de Parte	Dimensiones							Barrenos en Existencia		Tornillos		Peso lb (aprox)	Torque lb-pulg
	D	L	A	B Parte Larga	G	B.C.	W	Tipo 1	Tipo 2	No.	Tamaño		
H	2.50	1.25	0.25	1.6250	0.19	2.00	—	9/16 - 19/32	17/16 - 11/2	2	1/4 x 3/4	0.8	95

Fuente: MARTIN SPROCKET & GEAR INC. El gran catálogo 4000. En: MOHER. [Sitio web]. Querétaro: Moher. Catálogos. p. 291. [Consultado el 23 de diciembre de 2020]. Archivo pdf. Disponible en: <http://www.moher.mx/catalogos/13.pdf>.

Las características de las poleas que se conectan a cada alternador pueden ser las mismas ya que las características de funcionamiento por lo tanto la misma puede realizar la función recomendada.

- Selección correa

Se analiza que correa se debe seleccionar para lo cual es necesario conocer el tipo trabajo que se realizara para lo cual se analiza la siguiente tabla:

**Tabla 56. Factores de servicio**

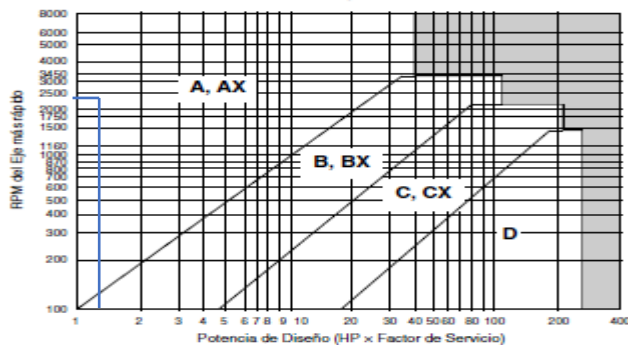
FACTORES DE SERVICIOS TÍPICOS						
TIPOS DE MÁQUINAS DE TRANSMISIÓN	TIPOS DE UNIDADES MOTRICES					
Los tipos de máquinas de manejo que se enlistan a continuación son solamente ejemplos representativos. Seleccione de la lista la categoría que más se aproxime a su aplicación.  <b>SI SE UTILIZAN RUEDAS LOCAS, AÑADA LO SIGUIENTE AL FACTOR DE SERVICIO:</b> Rueda Loca en lado flojo (dentro) Ninguno Rueda Loca en lado flojo (afuera) 0.1 Rueda Loca en lado apretado (dentro) 0.1 Rueda Loca en lado apretado (afuera) 0.2	<b>MOTORES ELÉCTRICOS</b> AC Torque Normal Jaula de Ardilla y Síncrono AC Fase Dividida DC Devanado Compuesto Motores de Combustión Interna			<b>MOTORES ELÉCTRICOS</b> AC Alto Torque AC Hi-Fase Dividida AC Repulsión-Inducción AC Monofásico Devanado en Serie AC Anillo de Deslizamiento DC Devanado Compuesto		
	SERVICIO INTERMEDIO	SERVICIO NORMAL	SERVICIO CONTINUO	SERVICIO INTERMEDIO	SERVICIO NORMAL	SERVICIO CONTINUO
Agitadores para Líquidos Sopladores y Aspiradoras Bombas Centrífugas y Compresoras 1.0 Ventiladores de hasta 10 Caballos de Fuerza Transportadores de Trabajo Ligero	1.0	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3
Transportadores de Banda para Arena, Grano, etc. Amasadora Ventiladores de más de 10 Caballos de Fuerza Generadores Ejes de Línea Maquinaria de Lavandería Máquinas-Herramientas Taladros-Prensas-Cortadores Maquinaria de imprenta Bombas Rotatorias de Desplazamiento Positivo Cribas Giratorias y Vibratorias	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4
Maquinaria para Ladrillos Elevadores de Cangilones Excitadores Compresores de Pistones Transportadores (Rastras, Helicoidales, Tabillas) Molinos de Martillos Hidropulper Bombas de Pistones Sopladores de Desplazamiento Positivo Pulverizadores Maquinaria para Molinos de Sierra y Trabajos en Madera Maquinaria Textil	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6
Quebradoras (Giratorias-Mordaza-Rodillos) Molinos (Bolas- Barras-Rodillos) Malacato Calandria — Extrusoras — Molinos de Hule	1.3	1.4	1.5	1.5	1.6	1.8
Equipo con Ahogador	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0

Fuente: MARTIN SPROCKET & GEAR INC. El gran catálogo 4000. En: MOHER. [Sitio web]. Querétaro: Moher. Catálogos. p. 237. [Consultado el 26 de diciembre de 2020]. Archivo pdf. Disponible en: <http://www.moher.mx/catalogos/13.pdf>.

Con este valor y la potencia nominal (la que puede generar el alternador) que maneja el sistema se puede encontrar el tipo de correa necesaria:

**Ilustración 47. Correas convencionales**

**TABLA 7 — Tabla de Selección para Bandas Convencionales**



Fuente: MARTIN SPROCKET & GEAR INC. El gran catálogo 4000. En: MOHER. [Sitio web]. Querétaro: Moher. Catálogos. p. 238. [Consultado el 27 de diciembre de 2020]. Archivo pdf. Disponible en: <http://www.moher.mx/catalogos/13.pdf>.

De aquí se obtiene el tipo de correa, con la que posteriormente se encuentra el tamaño adecuado de la misma:

**Tabla 57. Largo de las correas**

A			B			C			D			3V			5V			8V		
No. de Banda	Largo Efectivo	Factor de Correc.	No. de Banda	Largo Efectivo	Factor de Correc.	No. de Banda	Largo Efectivo	Factor de Correc.	No. de Banda	Largo Efectivo	Factor de Correc.	No. de Banda	Largo Efectivo	Factor de Correc.	No. de Banda	Largo Efectivo	Factor de Correc.	No. de Banda	Largo Efectivo	Factor de Correc.
A 26	28.1	0.81	B 35	37.9	0.81	C 51	55.2	0.80	D 120	125.2	.86	3VX250	25.0	0.83	5VX 500	50.0	0.85	8V1000	100.0	0.87
A 31	33.1	0.84	B 38	40.9	0.83	C 60	64.2	0.82	D 128	133.2	0.87	3VX 265	26.5	0.84	5VX 530	53.0	0.86	8V1060	106.0	0.88
A 35	37.1	0.87	B 42	44.9	0.85	C 68	72.2	0.85	D144	149.2	0.90	3VX 280	28.0	0.85	5VX 560	56.0	0.87	8V1120	112.0	0.88
A 38	40.1	0.88	B 46	48.9	0.87	C 75	79.2	0.87	D 158	163.2	0.92	3VX 300	30.0	0.86	5VX 600	60.0	0.88	8V1180	118.0	0.89
A 42	44.1	0.90	B 51	53.9	0.89	C 81	85.2	0.89	D173	178.2	0.93	3VX 315	31.5	0.87	5VX 630	63.0	0.89	8V1250	125.0	0.90

Fuente: MARTIN SPROCKET & GEAR INC. El gran catálogo 4000. En: MOHER. [Sitio web]. Querétaro: Moher. Catálogos. p. 240. [Consultado el 27 de diciembre de 2020]. Archivo pdf. Disponible en: <http://www.moher.mx/catalogos/13.pdf>.

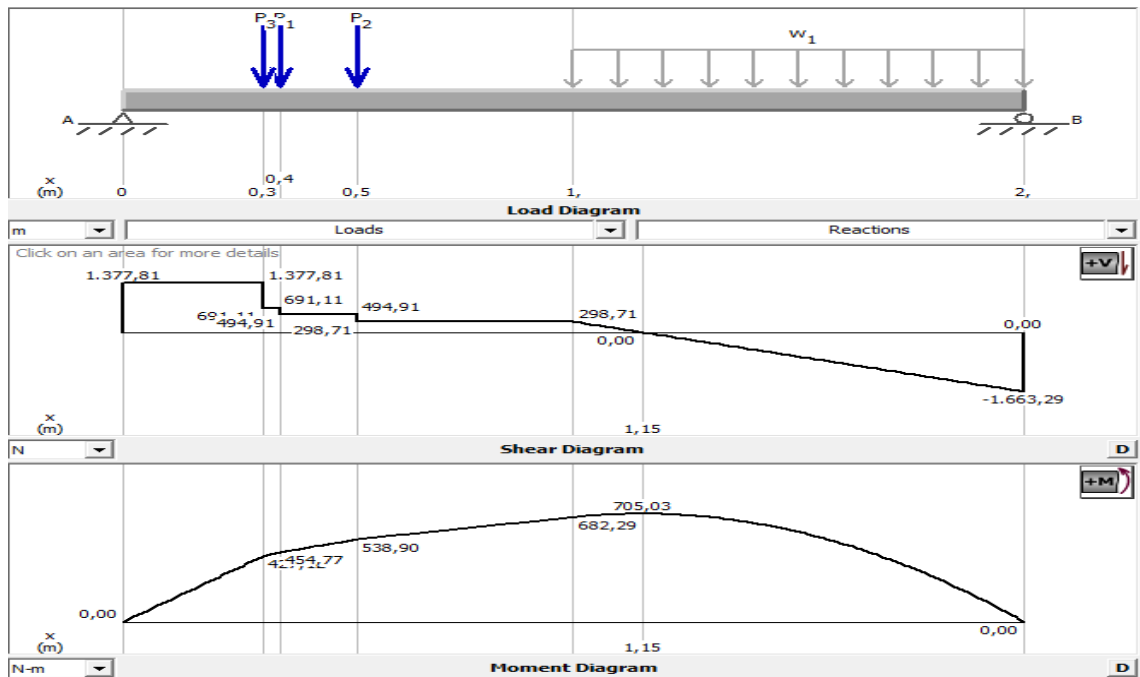
Se concluye que una correa A36 es la idónea para cumplir el trabajo que se espera en los casos de las conexiones de las cajas a los alternadores.

- Calculo de la estructura

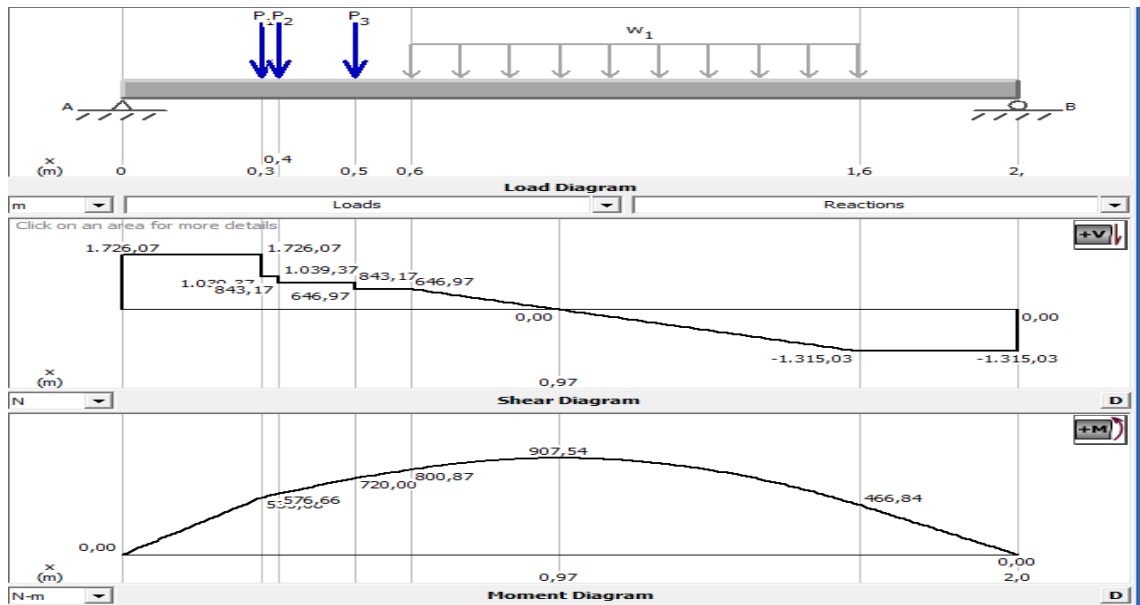
Para finalizar se debe calcular que la estructura resista la carga que se propone para que de esta manera el diseño este completo.

El analisis realiza en 2 casos, el primero cuando la silla se encuentra en su posicion mas alejada y cuando esta en su posicion mas cercana.

**Ilustración 48. Diagrama de cortantes y momentos para posición mas lejana de la silla.**



**Ilustración 49. Diagrama de cortantes y momentos para posición mas cercana de la silla.**

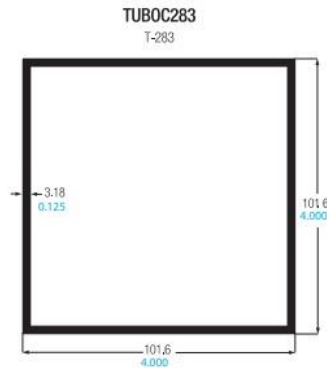


$$M_{\max} = 705,03 \text{ N.m}$$

$$V_{\max} = 1663,29 \text{ N}$$

Sección:

### Ilustración 50. Perfil de aluminio comercial



Fuente: ALUMINA: Perfiles comerciales. Platinas/Ángulos. Bogotá: alumina. p. 1.

[Consultado 03 de enero de 2021]. Disponible en:

<https://www.aluestructuras.com/Perfileria001.pdf>

$$I = \frac{1}{12} * b_1 * h_1^3 - \frac{1}{12} * b_2 * h_2^3$$

$$Q = A_1 * \bar{y}_1 + A_2 * \bar{y}_2$$

$$A_1 = b_2 * t$$

$$A_2 = \frac{2 * b_1}{2} * t$$

$$\bar{y}_1 = \frac{b_1}{2} - \frac{t}{2}$$

$$\bar{y}_2 = \frac{b_1}{4}$$

$$tf = 2 * t$$

$$\tau_{max} = \frac{V * Q}{I * tf}$$

$$S = \frac{M_{max}}{\sigma_{perm}}$$

$$S = \frac{I}{c}$$

$$c = \frac{b_1}{2}$$

$$\sigma_{perm} = \frac{M_{max}}{S}$$

Esto da como resultado para el primer caso de estudio en el que la carga la silla se encuentra más alejada el valor del esfuerzo cortante da un valor de 2,987 Mpa y de compresión de 17,70 Mpa, para el Segundo caso de análisis los resultados son 3,1 Mpa tensión y 22,79 Mpa compresión. Al comparar los resultados con los valores conocidos del aluminio 100 Mpa (compresión) y 25 Mpa (tensión) se puede concluir que el material resiste perfectamente la carga.

➤ Base del sistema.

Con estos valores es posible calcular las columnas de la base y también la que sostiene la caja de las manos por lo cual se va a calcular como una carga excéntrica

al igual que las de la base. Para esto se utiliza la ecuación de la secante para el estudio del bastidor.

$$\sigma_{crit} = \frac{P_{crit}}{A_{crit}} * \left(1 + \frac{e * C}{Rg^2} * \sec\left(\frac{Le}{Rg} * \sqrt{\frac{P_{crit}}{4 * E * A_{crit}}}\right)\right)$$

Donde:

$\sigma_{crit}$  = Esfuerzo crítico

$S_y$  = Esfuerzo de fluencia

$N$  = Factor de seguridad [2,5 – 4,5]

$P_{crit}$  = Carga critica =  $P * N$

$A_{crit}$  = Area critica

$e$  = Excentricidad de la carga

$C$  = distancia de la fibra más alejada del eje neutro

$rg$  = radio de giro

$Le$  = longitud efectiva

$rg$  = radio de giro

$E$  = Módulo de elasticidad

El valor promedio del aluminio que es usado comúnmente para el aluminio de resistencia a la tracción.

$$S_y = 169 [Mpa]$$

Para la carga crítica se tiene que:

$$P_{crit} = P * N = 1726,07 * 3 = 5178 [N]$$

El área se obtiene con calculando el valor externo y el interno:

$$A_{crit} = 0,001252$$

La excentricidad de la carga se calcula con la relación de esbeltez como se muestra:

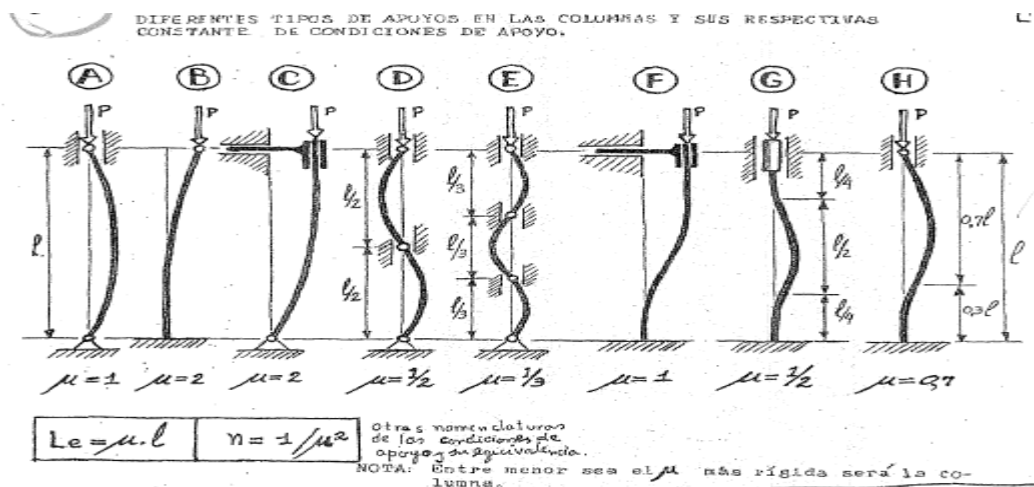
$$e = \frac{L}{400} = \frac{0,27}{400} = 0,000675 [m]$$

En el análisis de la fibra más alejada es de 50,8 mm. El radio de giro se calcula de la forma.

$$R_g = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{0,000002023}{0,001252}} = 0,0402 [m]$$

La longitud efectiva se determina por ciertos factores que se suministran dependen de la forma en que esta se encuentre apoyada en la imagen se puede observar cómo se muestran:

### Ilustración 51. Factores de apoyo en las columnas



PARADA CORRALES, Alfredo. FATIGA. Fisura progresiva: Diferentes tipos de apoyos en las columnas y sus respectivas constantes de condiciones de apoyo. Bucaramanga: UIS. 1990. p. 160.

Por lo tanto se puede concluir que:

$$Le = \mu * L = 0,7 * 0,27 = 0,189$$

El módulo de elasticidad es de:

$$E = 71 \text{ GPa}$$

Al reemplazar los valores en la ecuación se obtiene un valor de

$$\sigma_{crit} = 4,223 \text{ Mpa}$$

Este se debe de comparar con el que posee el material y tiene que ser menor que el mismo para corroborar la validez de la selección.

$$\sigma_{crit} \leq \frac{Sy}{N}$$

De lo cual se observa que:

$$\frac{Sy}{N} = \frac{169}{3} = 56,3 \text{ Mpa}$$

Por lo tanto es posible comprobar que el material no se pandea y cumple con las condiciones de carga de diseño.

El proceso se realiza de la misma manera para el soporte de la caja multiplicadora de las manos con una longitud efectiva de 2 veces la longitud de la columna, con un peso de aproximadamente 70 kg con esto da como resultado una carga de compresión crítica de 1,703 Mpa lo que asegura que también resiste.

- Cálculos energéticos

Conocida la fuerza que una persona puede realizar durante la operación de pedaleo es posible encontrar cuanto será la energía que se produce multiplicando el valor del torque por la velocidad angular que en promedio genera una persona.

$$F = 294,3 \text{ N}^{30}$$

$$d = 17 \text{ cm}$$

$$T = F * d$$

$$T = 294,3 * 0,17$$

$$T = 50,031 \text{ N.m}$$

$$W = \text{RPM}(\text{convertido})$$

Posterior a esto es posible encontrar cual es la velocidad de pedaleo promedio de una persona común y este valor usarse para la consideración de la energía.

---

<sup>30</sup> OSORIO, Arturo. Generador eléctrico accionado por fuerza humana: una nueva alternativa de generación de energía. En: Academia de Ingeniería Mecánica Eléctrica Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México. 2007.p.1

**Tabla 58. Velocidad promedio del pedaleo por genero**

Actividad Física	RPM PROMEDIO		Voltaje efectivo
	Mujer	Hombre	
Sedentario	99,57	114,29	11 - 12
Activo	103,33	110,69	11,72 - 13,57
Muy Activo	N/A	118,59	11,87 - 13,66

*Tabla : "Cuadro de categorización por actividad física del individuo"*

Fuente: GUTIÉRREZ ROA, Daniela Lizeth. Implementación y análisis de un prototipo de generación y almacenamiento de energía eléctrica a partir del movimiento de una bicicleta como propuesta para la disminución del consumo energético en la escuela de la comunidad el arroyo: etapa inicial. Bogotá: Santo Tomas. 2016. p. 43.

$$W = 110 \frac{rev}{min} * \frac{1 min}{60 s} * \frac{2\pi rad}{1 rev}$$

$$W = 11,51 \frac{rad}{s}$$

$$P = T * W$$

$$P = 50,031 * 11,51$$

$$P = 575,85681 W$$

➤ Para las manos

Calculo potencia generada por una persona en base a la fuerza que la misma aplica sobre el pedal y la velocidad que obtiene en el mismo:

$$F_{traccion} = 208,2 N^{31}$$

$$F_{empuje} = 94,0 N^{32}$$

$$F_{media} = \frac{(F_{traccion} + F_{empuje})}{2}$$

$$F_{media} = \frac{208,2 + 94}{2}$$

$$F_{media} = 151,1 N$$

$$d = 17 cm$$

$$T = F * d$$

$$T = 151,1 * 0,17$$

$$T = 25,687 N.m$$

$$W = RPM(convertido)$$

$$W = 70 \frac{rev}{min} * \frac{1 min}{60 s} * \frac{2\pi rad}{1 rev}$$

$$W = 7,33038 \frac{rad}{s}$$

---

<sup>31</sup> ALCALDE LAPIEDRA, Víctor, et al. Los límites del sistema mano-brazo. España: Mapfreseguridad. 2006. p. 32.

<sup>32</sup> Ibid

$$P = T * W$$

$$P = 25,687 * 7,33038$$

$$P = 188,2954 W$$

Con esto se puede calcular la potencia total generada por una persona mientras realiza el pedaleo combinado:

$$P_{total} = P_{pies} + P_{manos}$$

$$P_{total} = 575,85681 + 188,2954$$

$$P_{total} = 764,1522 W$$

Alternador de automóvil hella.

$$I = 70 \text{ Amp}$$

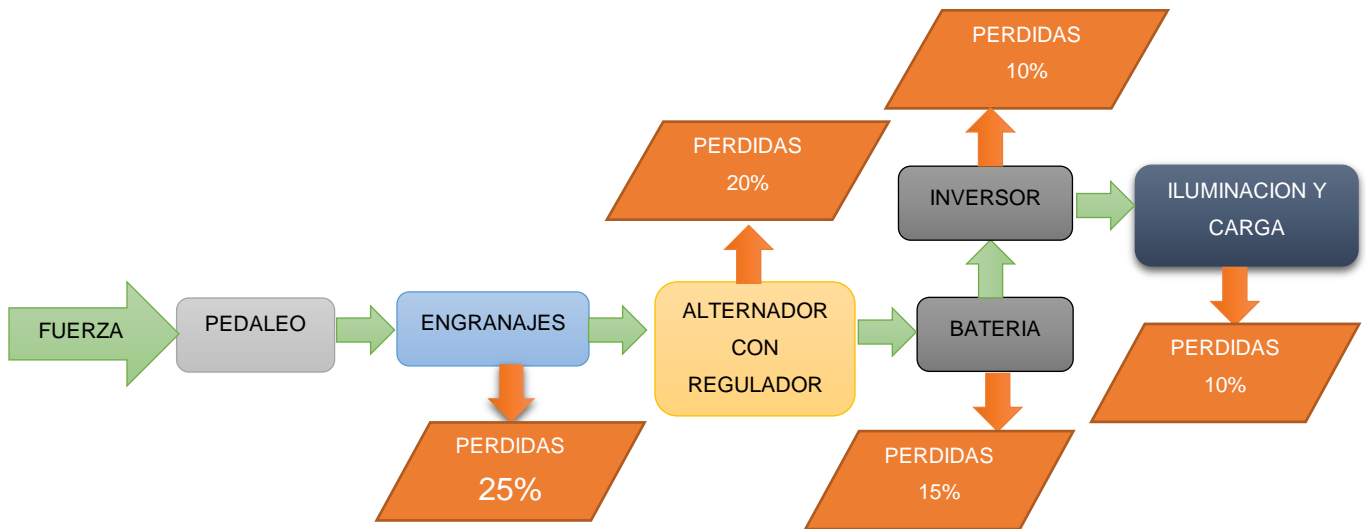
$$V = 14 V$$

$$P = V * I$$

$$P = 14 * 70$$

$$P = 980 W$$

**Ilustración 52. Diagrama de pérdidas energéticas aproximadas.**



Al realizar el análisis de la energía que se pierde en cada uno de los procesos se obtiene que la energía total que puede ser aprovechada es de alrededor de:

$$P_{uso} = 764,1522 * 75\% * 80\% * 85\% * 90\% * 90\%$$

$$P_{uso} = 315,6712 \text{ W}$$

$$P_{real} \approx 310 \text{ W}$$

- Análisis de modos y los efectos (Failure Modes and Effects Analysis) (FMEA).

La herramienta FMEA se usa para analizar cuáles son las fallas más comunes que presentara un diseño, con esto se pueden planear soluciones para que este tipo de fallas no se genere y el equipo sea más confiable. CAPSTONE plantea valores de ocurrencia numéricamente, siendo que uno se refiere a la menor frecuencia y diez a la mayor.

**Tabla 59. Criterios de ocurrencia de la falla.**

Criteria	Ranking	Probability
Remote probability of occurrence. Process capability shows at least $x \pm 4 \sigma$ within specifications.	1	1/10,000
Low probability of occurrence, with process in statistical control. Capability shows at least $x \pm 3 \sigma$ within specifications.	2	1/5,000
	3	1/2,000
	4	1/1,000
	5	1/500
Moderate probability of occurrence, for processes experiencing occasional failures. Process is in statistical control, with $x \pm 2.5 \sigma$ within specifications.	6	1/200
High probability of occurrence, with frequent failures. Process is in statistical control, but capability shows $x \pm 2.5 \sigma$ or less within specs.	7	1/100
	8	1/50
Very high probability of occurrence. Failure is almost certain to occur sooner or later.	9	1/20
	10	1-1/10

Fuente: GERSHENSON, John K, PhD. FMEA.[n.d].NASA ESMD Capstone Design.The Design process\_NASA. Pág 36.

También se pondera el valor de la severidad para cada una de las posibles fallas, esto da una medida de que tan grave serían las fallas si estas se presentaran en el equipo, además se analizan los efectos en el producto, como en el caso anterior se lleva una numeración partiendo del mismo principio:

**Tabla 60. Criterios de severidad de la falla**

Criteria	Ranking
Minor nature of failure, no noticeable effect on performance, undetectable by customer.	1
Low severity, causing only slight customer annoyance due to very minor subsystem performance degradation.	2 - 3
Moderate failure causing some customer discomfort, dissatisfaction, and annoyance due to subsystem or total performance degradation.	4 - 6
High degree of customer dissatisfaction due to nature of the failure (inoperable subsystem or total system).	7 - 8
Very high severity ranking for failure mode involving potential safety problems and/or nonconformance to federal regulations. Nonregulated components with a 9 or 10 severity ranking and occurrence rankings > 1 should be designated as control items (♦).	9 - 10

Fuente: GERSHENSON, John K, PhD. FMEA. [n.d].NASA ESMD Capstone Design.The Design process\_NASA. Pág 38.

Con esto ya se tienen claro cuál es el factor de ocurrencia de una falla así como la severidad que esta tiene en el equipo, así que se debe analizar cuáles son los métodos más eficaces para detectar cada una de las posibles fallas que se pueda

presentar en el dispositivo y la dificultad que representaría realizar estas mediciones:

**Tabla 61. Criterios de calificación de detección.**

Criteria	Ranking	Probability
Remote likelihood that product would be shipped containing such an obvious defect, since it is detected by subsequent factory operations.	1	1/10,000
Low likelihood for shipment with defect which is visually obvious or has 100% automatic checking.	2	1/5,000
	3	1/2,000
	4	1/1,000
	5	1/500
Moderate likelihood for shipment with defect, since the defect is easily identifiable through automatic inspection or functional checking.	6	1/200
	7	1/100
	8	1/50
High likelihood of shipping with subtle defect.	9	1/20
Very high likelihood that defect will not be detected prior to shipping or sale (checks are impossible or defect is latent).	10	1-1/10

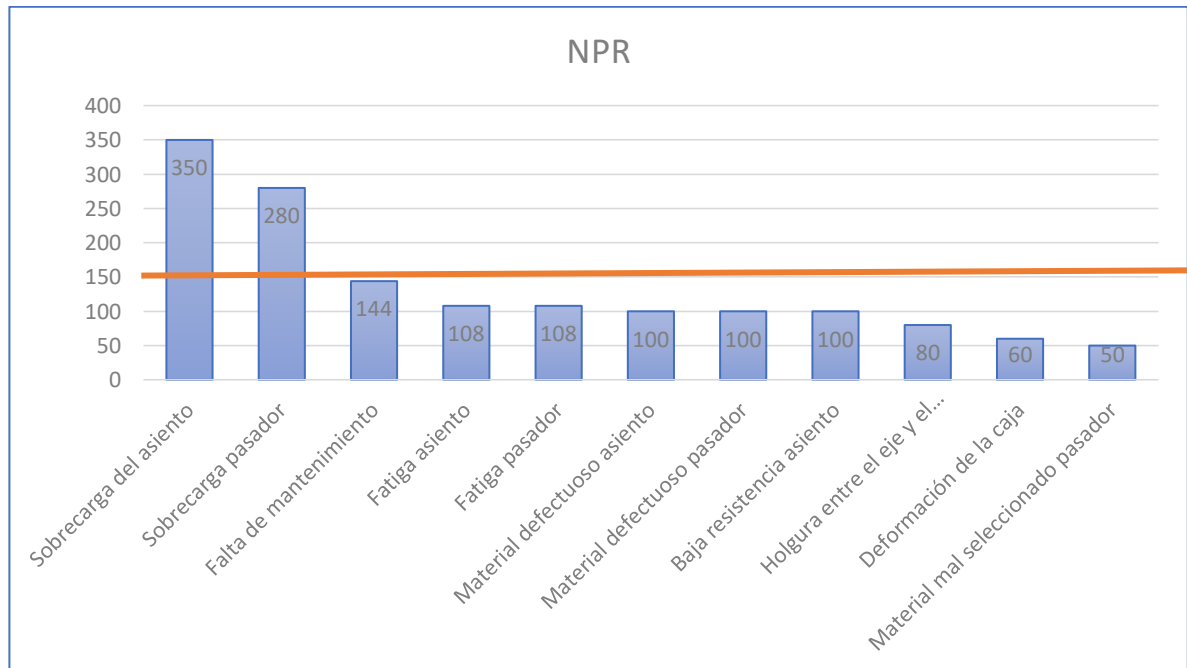
Fuente: GERSHENSON, John K, PhD. FMEA. [n.d].NASA ESMD Capstone Design.The Design process\_NASA. Pág 41.

Una vez que se tengan cada uno de estos valores se procede a calcular el RPN que no es otra cosa que la multiplicación de estos factores anteriormente propuestos, esto con el fin de encontrar cuales son los factores responsables de las fallas más catastróficas en el dispositivo, así se puede idear como reducir este tipo de falla con el fin de lograr un dispositivo mucho más confiable, también se deben tener en cuenta las fallas que se producen por mal manejo lo que puede repercutir en el funcionamiento y la vida útil del dispositivo.

**Tabla 62. Análisis de modo de falla los efectos**

Modo potencial de falla	causa de falla	efectos potenciales de falla	efectos finales de falla	metodo de deteccion	Ocurrencia	severidad	Deteccion	NPR	Acciones recomendadas	
									s	Responsable
Fractura en el pasador de ajuste de distancia	Material mal seleccionado	Aparicion de grietas	Fractura en la estructura	No existe	1	5	10	50	Precaucion en la selección	Diseñador
	Material defectuoso	Se generan concentradore	Fragilidad elevada	No existe	2	5	10	100	Manufactura cuidadosa	Manufactura
	Fatiga	La grietas se unen	Fractura en la estructura	No existe	2	6	8	96	-	Diseñador
	Sobrecarga	Esfuerzos elevados en el material	Deformacion de la estructura	No existe	4	7	10	280	Advertir al usuario de la carga	Usuario
Fractura del asiento	Baja resistencia	Deformacion en la barra	Angulos inapropiados	No existe	3	5	10	150	Calculos adecuados	Diseñador
	Material defectuoso	Se generan concentradore	Fragilidad elevada	No existe	2	5	10	100	Manufactura cuidadosa	Manufactura
	Fatiga	La grietas se unen	Fractura en la estructura	No existe	1	6	8	48	-	Diseñador
	Sobrecarga	Esfuerzos elevados en el material	Deformacion de la estructura	No existe	5	7	10	350	Advertir al usuario de la carga soportada	Usuario
Falla en los ejes	Deformacion de la caja	Desalineacion de los ejes	Funcionamiento desequilibra	Inspeccion visual	3	5	4	60	Advertir al usuario de no golpear la caja	Usuario
	Holgura entre el eje y el rodamiento	movimiento erratico del eje	desalineacion de los engranajes	No existe	2	5	10	100	Alta precision de manufactura	Manufactura
Falla en los rodamientos	Falta de mantenimiento	operación inusual	friccion excesiva en el	Auditivo	3	6	8	144	Lubricar los rodamientos	Usuario

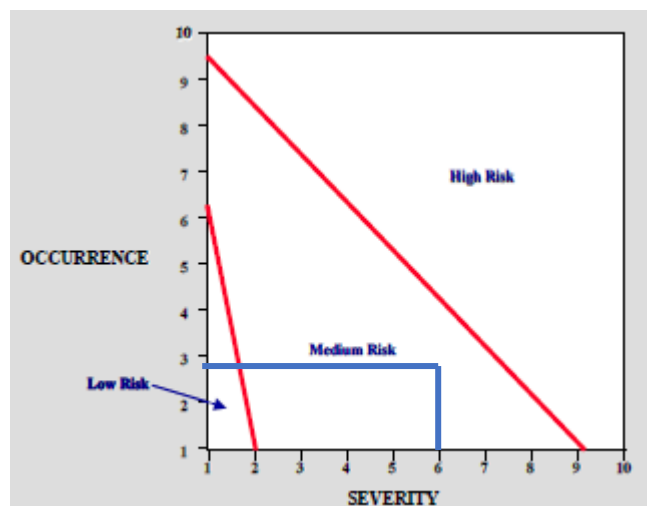
**Ilustración 53. Grafica RPN vs causas**



Con esta grafica es posible analizar cuáles son las causas de falla que tienen más repercusión en el sistema, encontrándose un RPN promedio de 148, algunos de los valores que sobrepasaron este valor se deben a que su detección es bastante complicada esto hace que su valor fuera muy elevado. Los mayores cuidados que se deben tener es la sobrecarga del sistema, aunque se diseñó basado en factores de seguridad elevados aun así cargas excesivas podrían generar daños, por tal motivo el usuario debe tener precaución de no subir más de 1 persona o situaciones donde se le aplique carga excesiva.

El promedio de ocurrencia que se obtuvo en las causas de falla fue de 2,8 mientras que el de severidad fue de 6,1 por que según se observa el diseño se encuentra en una zona de riesgo medio, se puede afirmar que se tiene un diseño de alta calidad, confiabilidad y que es bastante seguro.

#### Ilustración 54. Grafica Ocurrencia vs severidad



Fuente: GERSHENSON, John K, PhD. FMEA. [n.d].NASA ESMD Capstone Design.The Design process\_NASA. Pág 43.

El diseño se encuentra en el sector de riesgo medio si se toman en cuenta ciertos cuidados especiales con el dispositivo este puede llegar a ser de calidad alta.Las

fallas que se presentan son en su mayoría por sobrecargas y a pesar de que se usaron factores de seguridad elevados aún existen riesgos los cuales son completamente responsabilidad del usuario y del buen uso que este realice.

Con el fin de evitar estas fallas se opta por instalar un aviso en donde se señale que el peso máximo que puede soportar el sistema es de aproximadamente 150 kg, un peso superior ocasionara que el sistema presente fracturas en sus estructura.

- Análisis de costos:

Con el fin de poseer una estimación del valor de construcción que el proyecto podría poseer en su puesta en marcha se realiza una cotización del precio de las piezas que esta misa contiene:

**Tabla 63. Costos ponderados**

ARTÍCULO	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD	PRECIO TOTAL
ENGRANAJE TS1636	147857	5	739285
ENGRANAJE TC16112	375000	2	750000
ENGRANAJE TC16160	538214	2	1076428
LÁMINA	70000	2	140000
PERFILES(metro)	11500	7	80500
ÁNGULOS	7690	4	30760
PEDALES	180000	2	360000
EJES	200000	7	1400000
PIEZAS FUNDIDAS	300000	4	1200000
RODAMIENTOS	60000	14	840000
TORNILLOS Y TUERCAS	1000	28	28000
ARANDELAS	10000	40	400000
CHAVETAS	15000	10	150000
BATERÍAS	200000	2	400000
ALTERNADORES	150000	2	300000
MANO DE OBRA	800000	-	800000
			<b>8'694.973 COP</b>

## 7. CONCLUSIONES

- El diseño de sistema mecánico de pedaleo combinado puede generar eficientes resultados en cuanto a la producción de energía. Debido a que, sus dimensiones se adaptan a todo tipo de persona evitará el uso de otras máquinas. De esta forma, cumpliendo con su propósito ambiental esta es una gran alternativa para obtener energía.
- Se usó un sistema compacto de engranajes, además de la adición del pedaleo manual hace que este diseño tenga un alcance más amplio ya que se puede usar por personas que carecen de una extremidad, además de uso fraccionado de ser la preferencia del usuario.
- Se verifico la viabilidad del proyecto y se obtuvo un valor de energía generada de aproximadamente 310 Watt, este valor hace que haya factibilidad a la hora de la realización del modelo y por lo tanto este pueda ser implementado en algunos sectores rurales.
- Al comparar la energía generada por medio del diseño con la que se genera por paneles solares, pequeños generadores eólicos, esta resulta ser menor, sin embargo es completamente autónoma ya que no depende de factores climáticos lo que la hace confiable.
- La construcción se simplifica en gran manera cuando se tiene el proceso completamente definido, esto hace que el operario del taller puede hacer su trabajo de forma más eficiente.

## 8. RECOMENDACIONES

- Realizar un proceso de análisis con el objetivo de que se disminuyan los costos que tienen un valor estándar, sin embargo algunas piezas poseen valor adicional por que se construyen en otros lugares, sin embargo un proceso de construcción podría arrojar un costo distinto.
- Estudiar factores que puedan reducir las pérdidas en el sistema, un análisis de los dispositivos mecánicos podría dar lugar a una reducción en las pérdidas que se presentan en el interior del sistema.
- Plantear un estudio demográfico analizando la recibida que podría tener el diseño si se implementara para poder encontrar en que regiones seria mas aceptado este sistema.

## BIBLIOGRAFÍA

AGUDELO VÉLEZ, Felipe and GARCÍA ALEGRÍAS, Andrés Felipe, Sistema de Microgeneración de Energía a través del Ejercicio Humano. Ingeniería Electrónica. Pontificia Universidad Javeriana, Santiago de Cali. 2016

ALCALDE LAPIEDRA, Víctor, et al. Los límites del sistema mano-brazo. España: Mapfreseguridad. 2006. p. 32.

ARIAS CARMONA, ANGELA and GARCÍA RENGIFO, Jhonatan, Análisis de variables eléctricas para una bicicleta generadora de energía eléctrica. Tecnólogo en electricidad. Universidad Tecnológica de Pereira. 2017

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA. Ley 1715. (13, mayo, 2014). Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional [en línea]. Bogotá D.C.: Diario Oficial. 2014. nro. 51544. P. 1-16. □Consultado: 10 de enero de 2021□. Disponible en: [http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley\\_1715\\_2014.html](http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1715_2014.html)

CHERTA, Manuel Cortés. Curso moderno de máquinas eléctricas rotativas. Reverte, 1994.

Diffrient, Tilley y Harman, 1981. Citado por BERNAL, Marta Lucía; DAZA BELTRÁN, Carolina y RONCÓN BECERRA, Ovidio. Variables que afectan el confort real y percibido en las sillas de pasajeros en vehículos de transporte terrestres de pasajeros. Variables dimensionales. Pontificia Universidad Javeriana: ResearchGate. 2015. p. 6. [Consultado: 6 de diciembre de 2020]. ISBN: 334462736. Disponible en:

[https://www.researchgate.net/publication/304462736\\_Variables\\_que\\_afectan\\_el\\_comfort\\_real\\_y\\_percibido\\_en\\_las\\_sillas\\_de\\_pasajeros\\_en\\_vehiculos\\_de\\_transporte\\_terrestre\\_de\\_pasajeros?enrichId](https://www.researchgate.net/publication/304462736_Variables_que_afectan_el_comfort_real_y_percibido_en_las_sillas_de_pasajeros_en_vehiculos_de_transporte_terrestre_de_pasajeros?enrichId)

DUBEY, Harrsh Kumar, et al. A review on the advancement of human powered flywheel motor (HPFM) in India and its application for rural empowerment. *Materials Today: Proceedings*, 2020.

DURAN CHACON, Jose Vicente; GIL FERNANDEZ, Algemiro Jose. *Generación De Energia Electrica A Partir De Una Bicicleta Estatica: Montaje De Una Unidad Generadora Piloto*. 2014. Tesis Doctoral. Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones.

ESCÁRCEGA PLIEGO, Eduardo Abraham. *Inducción electromagnética [en línea]*. 2011. [Consultado: 19 de Julio de 2020]. Disponible en: <http://cursodefisica.co.uk/pdf/induem-tcarta-2a.pdf>

ESTRADA GASCA, C. A. Transición energética, energías renovables y energía solar de potencia. *Revista Mexicana de Física [en línea]*. 2013, 59(2), 75-84 [fecha de Consulta 18 de Julio de 2020]. ISSN: 0035-001X. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57030971010>

FAUPIN, Arnaud y GORCE, Philippe. The effects of crank adjustments on handbike propulsion: A kinematic model approach. *International Journal of Industrial Ergonomics*. 2008, vol. 38, nro. 7. p. 6. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2008.01.019>

GANGI, Sergio, et al. *Diseño de producto: generación de energía eléctrica a partir de bicicletas fijas de indoor*. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

GUTIÉRREZ ROA, Daniela Lizeth. Implementación y análisis de un prototipo de generación y almacenamiento de energía eléctrica a partir del movimiento de una bicicleta como propuesta para la disminución del consumo energético en la escuela de la comunidad el arroyo: etapa inicial. Bogotá: Santo Tomas. 2016. p. 43.

HERTA, Manuel Cortés. Curso moderno de máquinas eléctricas rotativas. Principios Fundamentales. nro. 1. España: Barcelona. 1994. ISBN: 84-7146-021-1

KILÔ ARDILA, Euclides. El Salesiano iluminó todo el colegio con energía solar [en línea]. En: Vanguardia. Bucaramanga. 17, marzo, 2017. □Consultado: 10 de enero de 2021□. Disponible en: <https://www.vanguardia.com/area-metropolitana/bucaramanga/el-salesiano-ilumino-todo-el-colegio-con-energia-solar-LQVL392108>

LÓPEZ SUÁREZ, Alfonso. El Gobierno le llevará energía eléctrica a 152 municipios [en línea]. En: portafolio. 28, mayo, 2019. [Consultado: 17 de junio de 2020]. Disponible en: <https://www.portafolio.co/economia/el-gobierno-le-llevara-energia-electrica-a-152-municipios-530039>

LÓPEZ VELÁSQUEZ, Robinson. Desarrollo de un sistema de generación eléctrica eficiente a partir de propulsión humana con base en una bicicleta estática. 2015. Tesis Doctoral. Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Tecnologías. Tecnología Mecánica.

MANTILLA VARGAS, Carlos Eduardo, et al. Bicicleta estática generadora de energía eléctrica como aprendizaje en el uso eficiente de energía. Revista Tecnología y Productividad, 2018, vol. 4, no 4, p. 61-74.

NAVARRETE MONDRAGÓN, Valdemar, PINEDA JIMÉNEZ, Williams y TREJO GONZÁLEZ, Carlos. Generación de energía eléctrica por imanes de neodimio. Ingeniero electricista. México D.F: Instituto politécnico nacional .Unidad profesional Adolfo López Mateos. 2015. 12p.

NUNEZ RODRIGUEZ, Carlos Fabian; FLOREZ REYES, Julian Oswaldo. Diseño De Un Sistema De Generacion De Energia Electrica A Partir De Bicicletas Estaticas. 2011. Tesis Doctoral. Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones.

OSORIO, Arturo. Generador eléctrico accionado por fuerza humana: una nueva alternativa de generación de energía. En: Academia de Ingeniería Mecánica Eléctrica Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México. 2007. p.1

PARADA CORRALES, Alfredo. FATIGA. Fisura progresiva: Diferentes tipos de apoyos en las columnas y sus respectivas constantes de condiciones de apoyo. Bucaramanga: UIS. 1990. p. 160.

PIÑEDA Geraldo, Aldo. Ergonomía y antropometría aplicada con criterios ergonómicos en puestos de trabajo en un grupo de trabajadoras del subsector de autopartes en Bogotá D.C. Colombia. Bogotá: Revista Republicana, 2007. p. 147.

RODRÍGUEZ, R., et al. Análisis comparativo de generadores reusados para generación eléctrica a partir de bicicletas estáticas Comparative analysis of reused generators for electric generation based on static bikes.

SANCHES MARTINES, Daniel. DISEÑO Y CÁLCULO DE UN REDUCTOR DE VELOCIDAD PARA UNA CINTA TRANSPORTADORA. Grado en Ingeniería Mecánica. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña, 2018. p. 22-43.

SCHALLENBERG RODRÍGUEZ, Julieta C, et al. Energías renovables y eficiencia energética. 1 ed. España: Instituto tecnológico de Canarias, S.A, 2008. p.46. ISBN 978-84-69093-86-3

SINGH, Ram; SHARMA, D. C. Experimental Study of Home Automation by Bicycle Pedal Power Using of Different Sprocket. International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT), 2014, vol. 8, no 2, p. 77-81.

Sistema de información eléctrico colombiano. ICEE 2018 [en línea]. 30 de diciembre de 2019. [Consultado: 16 de junio de 2020]. Disponible en: <http://www.siel.gov.co/Inicio/CoberturadelSistemaInterconectadoNacional/ConsultasEstadisticas/tabid/81/Default.aspx>

SUHALKA, Rajneesh, et al. Generation of Electrical Power using Bicycle Pedal. International Journal of Recent Research and Review, 2014, vol. 7, no 2, p. 63-67

SUHALKA, Rajneesh, et al. Generation of Electrical Power using Bicycle Pedal. International Journal of Recent Research and Review, 2014, vol. 7, no 2, p. 63-67. <https://n9.cl/1899m>

VELÁSQUEZ, Robinson López. Desarrollo de un sistema de generación eléctrica eficiente a partir de propulsión humana con base en una bicicleta estática. 2015. Tesis Doctoral. Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Tecnologías. Tecnología Mecánica.

VIVAS, Julián. El mapa de 1.710 poblados que aún se alumbran con velas en Colombia [en línea]. En: El tiempo. Bogotá. 12, febrero, 2019. [Consultado: 15 de junio de 2020]. Disponible en: <https://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/los-lugares-que-aun-viven-sin-energia-electrica-en-colombia-325892>

VON DRAIS, Karl; MCCAL, Thomas. Diseño de un sistema de generación de energía eléctrica a partir de bicicletas estáticas. 2014.