

## **Información Importante**

La Universidad Santo Tomás, informa que el(los) autor(es) ha(n) autorizado a usuarios internos y externos de la institución a consultar el contenido de este documento a través del catálogo en línea, página web y Repositorio Institucional del CRAI-USTA, así como en las redes sociales y demás sitios web de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

Se permite la consulta a los usuarios interesados en el contenido de este documento, para todos los usos que tengan **finalidad académica**, siempre y cuando mediante la correspondiente cita bibliográfica se le dé crédito al trabajo de grado y a su autor, nunca para usos comerciales.

De conformidad con lo establecido en el Artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, la Universidad Santo Tomás informa que “los derechos morales sobre documento son propiedad de los autores, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.”

**Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación, CRAI-USTA  
Universidad Santo Tomás, Bucaramanga**

**Modalidad de Trabajo de Grado**

**Diseño de una máquina para corte de láminas de metal a longitudes variables**

**Camilo Andres Torres Patiño**

Para optar el título de Ingeniero Mecatrónico

Director

**Ing. Hernán Josué Hernández Lamprea.**

Codirector

**Ing. Felix Antonio Pérez Rondón, M.Sc.**

**Facultad de Ingeniería Mecatrónica**

**División de Ingenierías y Arquitectura**

**Universidad Santo Tomás**

**Bucaramanga, 17 de enero de 2020**

### **Dedicatoria**

Quiero expresar una especial dedicatoria por el éxito en la culminación de mi carrera principalmente a Dios por permitirme levantarme sano todos los días y tener pleno uso de mis facultades físicas y mentales durante toda mi vida y en específico durante el tiempo que duro mi carrera, también quiero dedicar este éxito a mis padres Camilo Torres Barragán y Claudia Patricia Patiño Jaimes por brindarme sustento tanto económico como moral durante el transcurso de mi camino académico con la Universidad Santo Tomas de Bucaramanga, finalmente, le dedico a mi hermana Paula Andrea Torres Patiño y a mis amigos parte del éxito de mi graduación como ingeniero, ya que, debido a sus consejos decidí escoger la Universidad Santo Tomas para estudiar ingeniería mecatrónica.

### **Agradecimientos**

Agradezco a la Universidad Santo Tomas de Bucaramanga por permitirme cursar y terminar su programa de ingeniería mecatrónica. Emito un especial agradecimiento a mis directores y profesores, los ingenieros: Hernán Josué Hernández Lamprea y Félix Antonio Pérez Rondón, por su colaboración en la revisión y seguimiento del cumplimiento del proyecto durante todo su desarrollo. Agradezco a mi profesora la ingeniera Deisy Carolina Páez Casas por ayudarme con la revisión de los documentos de informe en cada etapa. Agradezco a mis profesores en general, quienes fueron los responsables de instruirme y afianzar los conocimientos necesarios para el desarrollo y culminación del proyecto. Y finalmente, agradezco a mis compañeros de facultad por ayudarme académicamente en las asignaturas que cursé y motivarme a mejorar mis habilidades.

---

## Tabla de contenido

Agradecimientos .....	4
Resumen .....	11
Abstract .....	12
1. Introducción .....	13
1.1 Motivación y Formulación Del Problema .....	14
1.2 Finalidad .....	15
1.2.1. Objetivo general .....	15
1.2.2. Objetivos específicos.....	15
1.3 Aportes del trabajo.....	16
1.4 Organización del Documento .....	16
2. Marco de Referencia .....	17
2.1. Marco Teórico.....	17
2.2. Marco Conceptual .....	27
2.3. Marco Legal .....	29
2.4. Marco Tecnológico y Científico (Estado del Arte).....	29
3. Diseño Metodológico .....	31
3.1. Criterios de Diseño.....	32
3.2. Descripción de etapas y tareas.....	32

---

3.3. Descripción de los productos finales .....	34
4. Desarrollo .....	34
4.1. Diseño .....	43
4.2. Simulaciones .....	52
4.3. Resultados .....	59
4.4. Discusión de resultados .....	61
5. Conclusiones y Trabajos Futuros .....	69
5.1. Conclusiones .....	69
5.2. Trabajos futuros .....	70
Bibliografía .....	71

---

### Lista de Figuras

<i>Figura 1.</i> Nomenclatura de la norma AISI-SAE. ....	18
<i>Figura 2.</i> Propiedades y composición del acero 1020. ....	19
<i>Figura 3.</i> Tipos de cizallado de láminas. ....	20
<i>Figura 4.</i> Disposición de las cuchillas rotativas, vista frontal. ....	20
<i>Figura 5.</i> Tabla de claros verticales y horizontales para un par de cuchillas circulares. ....	21
<i>Figura 6.</i> Tabla de composición de los tipos de aceros para herramientas. ....	22
<i>Figura 7.</i> Aplicaciones del acero D-2. ....	23
<i>Figura 8.</i> Propiedades y composición del acero 8620. ....	24
<i>Figura 9.</i> Diagrama general completo de una guía GEMMA. ....	27
<i>Figura 10.</i> Diagrama de flujo de actividades. ....	31
<i>Figura 11.</i> Componentes generales de las máquinas de corte. ....	35
<i>Figura 12.</i> Componentes particulares de cada modelo. ....	35
<i>Figura 13.</i> Trabajos empleados para cada tipo de cuchilla. ....	36
<i>Figura 14.</i> Comparación entre los tres modelos ....	37
<i>Figura 15.</i> Diseño conceptual cizalla hidráulica. ....	38
<i>Figura 16.</i> Diseño conceptual máquina de corte por láser. ....	38
<i>Figura 17.</i> Diseño conceptual cizalla longitudinal. ....	39
<i>Figura 18.</i> Matriz de ponderación de pesos de los criterios. ....	40
<i>Figura 19.</i> Matriz de ponderación del criterio de disposición. ....	41
<i>Figura 20.</i> Matriz de ponderación del criterio de ergonomía. ....	41
<i>Figura 21.</i> Matriz de ponderación del criterio de eficiencia. ....	41

---

<i>Figura 22.</i> Matriz de ponderación del criterio de costo.....	42
<i>Figura 23.</i> Índice de prioridad de cada diseño conceptual. ....	42
<i>Figura 24.</i> Diagrama de cuerpo libre de la lámina. ....	45
<i>Figura 25.</i> GEMMA de la máquina. ....	48
<i>Figura 26.</i> F1 desde A1. ....	49
<i>Figura 27.</i> D2 desde A1 (parte 1). ....	49
<i>Figura 28.</i> D2 desde A1 (parte 2). ....	50
<i>Figura 29.</i> D2 desde A1 (parte 3). ....	50
<i>Figura 30.</i> D3 desde A1. ....	51
<i>Figura 31.</i> D1.....	51
<i>Figura 32.</i> Diagrama de cortante del eje inferior.....	52
<i>Figura 33.</i> Diagrama de momento del eje inferior.....	53
<i>Figura 34.</i> Diagrama de cortante del eje superior.....	53
<i>Figura 35.</i> Diagrama de momento del eje superior. ....	54
<i>Figura 36.</i> Simulación de tensiones a las que estará sometida la estructura. ....	55
<i>Figura 37.</i> Simulación de desplazamientos de la estructura.....	56
<i>Figura 38.</i> Simulación del factor de seguridad de la estructura.....	56
<i>Figura 39.</i> Detalles de la malla de la estructura.....	57
<i>Figura 40.</i> Simulación de tensiones a las que estará sometida la estructura 2. ....	57
<i>Figura 41.</i> Simulación de desplazamientos en la estructura 2. ....	58
<i>Figura 42.</i> Simulación del factor de seguridad de la estructura 2.....	58
<i>Figura 43.</i> Detalles de la malla de la estructura 2.....	59

---

<i>Figura 44.</i> Motorreductores de sinfín NORD.....	61
<i>Figura 45.</i> Engrane Martín de 20°.....	62
<i>Figura 46.</i> Cadena #50 Tsubaki.....	62
<i>Figura 47.</i> Rueda dentada martín (piñón, Catarina).....	63
<i>Figura 48.</i> Chumacera SKF.....	63
<i>Figura 49.</i> Vista isométrica frontal de la máquina terminada.....	65
<i>Figura 50.</i> Vista isométrica trasera de la máquina terminada.....	65
<i>Figura 51.</i> Costo de fabricación de la máquina.....	66
<i>Figura 52.</i> Costo de diseño de la máquina.....	66
<i>Figura 53.</i> Cuadro comparativo.....	67

### **Lista de Apéndices**

Apéndice A. Traslape de las cuchillas.

Apéndice B. Perfil de las cuchillas.

Apéndice C. Fuerza y potencia para el corte.

Apéndice D. Angulo de corte.

Apéndice E. Fuerza en el eje.

Apéndice F. Transmisión por engranajes.

Apéndice G. Transmisión por cadena.

Apéndice H. Transmisión por ejes.

Apéndice I. Catalogo NORD.

Apéndice J. Catalogo Martin engranes rectos.

Apéndice K. Catalogo Martín ruedas dentadas.

Apéndice L. Catalogo SKF.

Apéndice M. Diagrama Ladder.

Apéndice N. Precios del mercado.

Apéndice O. Cotizaciones.

Apéndice P. Máquinas actuales del mercado.

Apéndice Q. Planos.

### Resumen

Los fabricantes de filtros colombianos en general requieren de usar el servicio de corte de láminas para el ensamblaje de los filtros. Para lograr los cortes de dichas láminas se usan máquinas cizalladoras, las cuales existen en diferentes modelos, uno de los ellos es el de una máquina de corte longitudinal, con este modelo se pueden ahorrar tanto espacio, como dinero en cuanto a la cantidad de componentes que tiene con respecto a los otros modelos. Para un empresario promedio que se dedique a fabricar filtros, en su mayoría, requieren diseños específicos, como en la empresa filtros JAPAN donde se requiere una máquina de este tipo para realizar máximo ocho cortes a láminas de acero galvanizado a diferentes longitudes. Para lograr el diseño de esta máquina se usaron metodologías y herramientas de ingeniería tomadas de otros trabajos de grado y diversas fuentes como el libro Mott. La máquina podrá emplearse en el corte de láminas de acero y con ajustes podrá emplearse en el corte del papel de filtro.

***Palabras Clave:** Máquina de corte longitudinal, Corte de láminas, Mecatrónica, Automatización, Estudio comercial, Ingeniería.*

### **Abstract**

Colombian filter manufacturers generally need to use the sheet cutting service to be able to use these in the filter assembly. To achieve the cuts of these sheets, shearing machines are used, which exist in different models, one of the models is a slitting machine, with this model can save room space and money in terms of components amount that it has respect another model. For an average businessman dedicated to manufacturing filters require specific designs, such in JAPAN filters enterprise where a machine of this type is required to make a maximum of eight cuts to galvanized Steel sheets at different lengths. To achieve the design of this machine, methodologies and engineering tools taken from other degree Works and various sources such as the Mott book were used. The machine can be used in the cutting of Steel sheets and with adjustments it can be used in the cutting of the filter paper.

***Key Words-*** *Slitting, sheet cutting, mechatronics, Automation, Sales study, Engineering.*

## 1. Introducción

Los vehículos con el pasar de los años, se han vuelto parte de la cotidianidad del ser humano debido a la necesidad de desplazamiento y de transporte de recursos, esta relación ha ocasionado una nueva necesidad a partir del uso de los vehículos y su vida útil, la necesidad de realizar un mantenimiento periódico a los vehículos para que su funcionamiento sea óptimo. Los motores son los principales componentes que proporcionan tracción y movimiento mecánico a todos los vehículos.

Gran parte de los medios de transporte más usados actualmente son las motocicletas, las cuales entre muchos otros componentes poseen uno que es clave para el buen funcionamiento de sus motores, los filtros (ya sean de aire o aceite). Los filtros impiden que la mayoría de las impurezas o partículas ingresen en los sistemas de lubricación y ventilación, con el fin de evitar que dichas impurezas obstruyan las juntas de los mecanismos internos del vehículo y a su vez el movimiento general de los demás componentes que entregan tracción al vehículo. Para fabricar los filtros se tiene en cuenta el modelo de la motocicleta, con el fin de determinar las dimensiones y el tipo de cada material que componen los filtros. Uno de los materiales que componen los filtros son las láminas de acero, estas láminas de distintas aleaciones se encuentran como producto primario en rollos de varios espesores definidos por calibres, comúnmente hechas de acero galvanizado, estirado en frío.

Debido a la importancia que tienen los filtros para el funcionamiento óptimo del vehículo se hace obligatorio para su mantenimiento que se realicen los cambios respectivos de estos, cada año o dependiendo de la cantidad de uso que se le dé a la motocicleta y su modelo, los fabricantes recomiendan hacer el cambio de filtros cada 7500 a 20000 km para prolongar su vida útil. [1]

Como los filtros son componentes ideados y diseñados para su fácil reemplazo, se convierten en elementos de fabricación en masa, por lo que existen empresas nacionales como: ICOFIL, LUBRIFILTROS, FILTROS JAPAN; e internacionales como: FILTRON, STAUFF, BALDWIN, entre otros; dedicadas a la fabricación de los filtros. Para lograrlo estas empresas actualmente usan diversas máquinas distribuidas en diferentes etapas, una de las cuales son las cizallas ideadas, diseñadas y fabricadas para cortar las láminas de acero mencionadas anteriormente.

### **1.1 Motivación y Formulación Del Problema**

Es necesario para los fabricantes de filtros de motocicletas disponer de cizallas capaces de cortar láminas de acero ajustando las longitudes de corte según el modelo de filtro que se requiera fabricar, en el mercado aparecen en varios modelos: hidráulicas [2], rotativas [3], o por láser [4].

Para muchos empresarios colombianos acceder a maquinaria especializada representa una inversión muy elevada, por lo tanto, se plantea el diseño en detalle de una máquina que corte láminas de metal a distintas longitudes para la fabricación de filtros de aceite para motos y que su costo sea accesible para las empresas y competitivo en el mercado nacional e internacional.

## **1.2 Finalidad**

### **1.2.1. Objetivo general**

Diseñar una máquina para hacer cortes uniformes a diferentes longitudes sobre láminas de metal usadas en la fabricación de filtros para motos.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

1. Realizar tres diseños conceptuales utilizando criterios de diseño mecatrónico, para establecer cuál es el sistema más adecuado para cubrir este tipo de necesidades.
2. Realizar el diseño detallado del modelo seleccionado en el primer objetivo específico, utilizando elementos de análisis estáticos y dinámicos.
3. Realizar simulaciones para el diseño realizado con el fin de validar los cálculos de resistencia de materiales de los elementos críticos dentro del sistema.
4. Seleccionar la instrumentación y sensorica necesarias para la automatización de la máquina y desarrollar una lógica de programación automatizada, siguiendo las recomendaciones de la norma IEC 61131-3 y la metodología GEMMA.
5. Realizar un estudio comercial, donde se compare el precio de construcción del diseño realizado con máquinas existentes actualmente en el mercado nacional e internacional.

### **1.3 Aportes del trabajo**

El diseño de la máquina será útil para su eventual construcción y como referencia, guía y/o fundamento para el estudio, conocimiento y/o diseño de futuras máquinas que necesiten hacerse dentro y fuera del entorno académico.

El resultado del diseño debería ser que al construir la máquina no tendrían que hacerse cambios de los elementos seleccionados, ni se tendría que emplear mucho tiempo en pruebas de la máquina.

Los beneficiados con este proyecto además del autor serán las empresas que tengan que ver con la fabricación de filtros para motos. También podrán beneficiarse los estudiantes y futuros ingenieros que necesiten un trabajo como este para guiarse en sus futuros proyectos.

El proyecto podrá emplearse en la fabricación de máquinas para el corte de láminas de metal, así como en estímulos para afianzar los fundamentos académicos de los estudiantes, sobre todo de ingeniería.

### **1.4 Organización del Documento**

A continuación, en el capítulo 2 se exponen datos, conceptos, conocimientos, teoría y formulas necesarios para fundamentar los cálculos y el diseño, aquí se encuentran la mayoría de las referencias de las cuales se sacó la información que dio forma a la idea y cómo desarrollarla. En el capítulo 3 se describe y desarrolla la metodología a seguir para lograr los objetivos usando como referencia el capítulo 2 y los objetivos específicos, se describe paso a paso lo que se planeó hacer para el capítulo 4. El capítulo 4 expone los resultados y el análisis que corresponde para llegar a las conclusiones, aquí se encuentran los elementos

seleccionados para conformar la máquina, todo el diseño para su mejor entendimiento tiene como complemento a la información suministrada por el cuerpo del trabajo en el capítulo 4, los anexos. Por último, el capítulo 5 muestra las conclusiones a partir del cumplimiento de los objetivos específicos y los trabajos futuros que podrían derivar del trabajo terminado.

## **2. Marco de Referencia**

### **2.1. Marco Teórico**

El acero es principalmente una aleación de hierro con una cantidad de carbono que puede variar entre 0,03% y 1,075% en peso de su composición. Dependiendo del grado existen muchos tipos de acero según los elementos aleados que estén presentes en su composición, cada tipo permitirá diferentes aplicaciones y usos, lo que hace al acero un material versátil y muy difundido en la vida moderna. El acero se puede reciclar indefinidamente sin perder sus atributos, lo que favorece su producción a gran escala, esta variedad y disponibilidad lo hace apto para numerosos usos como la construcción de maquinaria, herramientas, edificios y obras públicas, aeronáutica, industria automotriz, instrumental médico, etc., contribuyendo al desarrollo tecnológico de las sociedades industrializadas. [5]

El Instituto Americano de Hierro y Acero o AISI (por sus siglas en inglés American Iron and Steel Institute) en colaboración con la Sociedad de Ingenieros Automotrices o SAE (por sus siglas en inglés Society of Automotive Engineering), crearon su propia norma en la cual emplean un sistema numérico donde se dan los porcentajes principales de los elementos de

aleación para designar un acero para maquinaria. La numeración básica para la serie de cuatro dígitos AISI-SAE, es la siguiente:

10XX Aceros al carbono.  
11XX Aceros al carbono, altos en azufre y bajos en fósforo  
12XX Aceros al carbono, altos en azufre y altos en fósforo  
13XX Aceros al manganeso, de 1,60 a 1,90% de Mn  
23XX Aceros al níquel, de aproximadamente 3,5% de Ni  
25XX Aceros al níquel, de aproximadamente 5% de Ni  
31XX Aceros al níquel- cromo, de aproximadamente 1,25% de Ni y 0,60% de Cr  
32XX Aceros al níquel- cromo, de aproximadamente 1,75% de Ni y 1% de Cr  
33XX Aceros al níquel- cromo, de aproximadamente 3,5% de Ni y 1,50% de Cr  
40XX Aceros al molibdeno, de aproximadamente 0,25% de Mo  
41XX Aceros al cromo- molibdeno, de aproximadamente 1% de Cr y 0,25% de Mo  
43XX Aceros al níquel- cromo- molibdeno  
46XX Aceros al níquel- molibdeno, de aproximadamente 75% de Ni y 0,25% de Mo  
48XX Aceros al níquel- molibdeno, de aproximadamente 3,50% de Ni y 0,25% de Mo  
51XX Aceros al cromo, de aproximadamente 0,80% de Cr  
52XX Aceros al cromo, de aproximadamente 1,50% de Cr  
61XX Aceros al cromo- vanadio  
86XX Aceros al cromo- níquel- molibdeno, de aproximadamente 0,55% de Ni, 0,50% de Cr y 0,20% de Mo  
87XX Aceros al cromo- níquel- molibdeno, de aproximadamente 0,55% de Ni, 0,50% de Cr y 0,25% de Mo.  
92XX Aceros al manganeso, silicio, de aproximadamente 0,80% de Mn y 2,00% de Si  
93XX Aceros al níquel- cromo- molibdeno, de aproximadamente 3,25% de Ni, 1,20% de Cr y 0,12% de Mo.  
98XX Aceros al níquel- cromo- molibdeno, de aproximadamente 1% de Ni, 0,80% de Cr y 0,25% de Mo.

*Figura 1.* Nomenclatura de la norma AISI-SAE.

Adaptado de “Clasificación AISI-SAE de los aceros”, por Orozco A.

Según la empresa colombiana *Coldeaceros S.A.* cuya base se encuentra en la ciudad de Cali, Valle del Cauca, el acero comercial más usado para la fabricación de láminas es el AISI 1020, cuyos usos principales son para partes de vehículos y maquinaria, entre otros. Las láminas que suelen comercializar son las denominadas “cold rolled” las cuales son chapas laminadas en caliente y llevadas a un proceso de reducción de calibre crudo en frío, permitiendo su galvanización. Estas láminas son utilizadas por la industria metalmecánica y en la industria automotriz en la fabricación de auto partes, se encuentran en calibres desde 28 (0.36 mm) hasta 11 (3 mm). [7]

El galvanizado se produce al sumergir productos de acero o hierro en un baño de zinc fundido. La película de zinc que se forma sobre el metal lo protege de dos maneras: como

barrera y como protección catódica. Las propiedades que presentan los aceros galvanizados son: resistencia a la abrasión, lo cual brinda al material unión metalúrgica de buena adherencia; resistencia a la corrosión, brinda aislamiento del medio ambiente agresivo y el zinc evita que se corroa el acero sacrificándose y protegiéndolo así de la oxidación. [8]

Composición Química								Propiedades Mecánicas				
C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Mo	Estado del material	Resistencia a la tracción Kg / mm <sup>2</sup>	Limite elástico Kg / mm <sup>2</sup>	Alargamiento %	Reducción de área %
0.18/0.23	0.30/0.60	0.040	0.050	0.15/0.30				Laminado en caliente	40	31	25	45
								Calibrado	55	38	15	30

Figura 2. Propiedades y composición del acero 1020.

Adaptado de “Acero 1020”, por Coldeaceros S.A.

El cizallado es un proceso en el cual se realizan cortes limpios donde por el efecto del apisonado de la plancha entre dos hojas afiladas, generan en principio un aplastamiento debido al esfuerzo, seguido de un corte parcial debido a la penetración de la cuchilla, sometiendo a las fibras del metal a un esfuerzo de tracción las mismas que se endurecen rápidamente por acritud y se rompen. [3] (p5-15)

El corte longitudinal traducido del inglés “*slitting*”, es un proceso de cizallado aplicado a láminas de metal, que usa cuchillas rotativas. Las industrias usan el corte longitudinal para dividir el ancho de los rollos de las láminas de metal en láminas o rollos de anchos más pequeños o para cortar los bordes de dichas bobinas. [10]

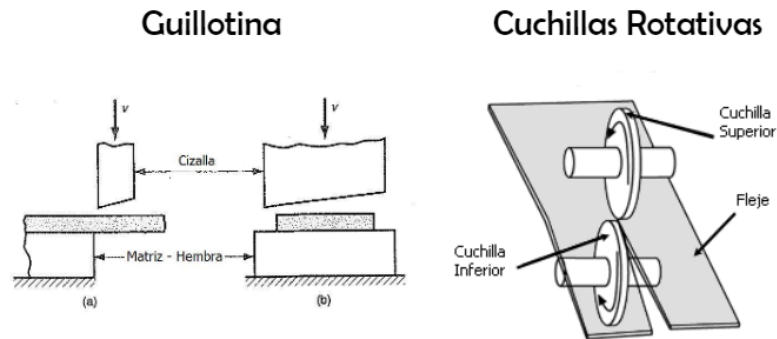


Figura 3. Tipos de cizallado de láminas.

Adaptado de “Conformado de láminas metálicas”, por Fiuba.

El aspecto más importante para lograr un corte ideal en la lámina es la separación horizontal y el traslape vertical entre el par de cuchillas rotativas. La propia separación horizontal depende primordialmente de el grosor del material a cortar y el esfuerzo de tracción del material, y el traslape vertical se calcula conociendo las dimensiones de las cuchillas.

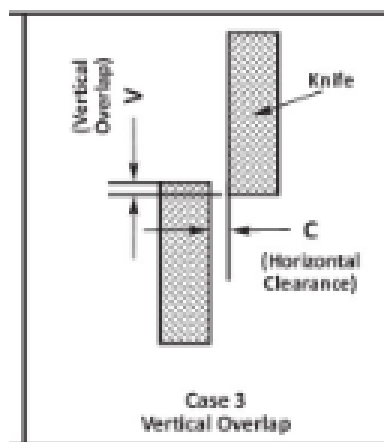


Figura 4. Disposición de las cuchillas rotativas, vista frontal.

Adaptado de “Slitting Knife clearance”, por DeeTee Industries.

La geometría de las cuchillas está definida por medio de las ecuaciones expuestas en el anexo A, tomando como referencia la medida estándar del diámetro de la cuchilla inferior con un valor de 8 pulgadas (in) [13], y el traslape sugerido por la Sociedad Americana de Metales, ASM por sus siglas en inglés (*American Society for Metals*) para el corte por maquinado de una lámina de acero:

Espesor a cortar		Claro	
mm	pulg	mm	pulg
<b>Vertical solapado</b>			
0,25	0,010	0,08	0,003
0,51	0,020	0,18	0,007
0,76	0,030	0,25	0,010
1,07	0,042	0,36	0,014
1,24	0,049	0,43	0,017
1,50	0,059	0,56	0,022
1,73	0,068	0,51	0,020
2,11	0,083	0,46	0,018
2,41	0,095	0,38	0,015
2,59	0,102	0,33	0,013
3,02	0,119	0,18	0,007
3,40	0,134	0,13	0,005
3,81	0,150	0,00	0,000
<b>Vertical no solapado</b>			
4,27	0,168	0,05	0,002
4,52	0,178	0,10	0,004
4,75	0,187	0,15	0,006
5,08	0,200	0,20	0,008
<b>Horizontal</b>			
0,20 o menos	0,008 o menos	0,000	0,000
0,23-0,25	0,009 to 0,010	0,013	0,0005
0,28-0,48	0,011 to 0,019	0,025	0,001
0,51 o más	0,020 o más	7 a 8% del espesor del material de trabajo	

*Figura 5.* Tabla de claros verticales y horizontales para un par de cuchillas circulares.

Adaptado de “Diseño de un sistema de corte de láminas metálicas para una empresa fabricante de filtros automotrices”, por Díaz D, 2010.

Los aceros usados para la fabricación de herramientas tanto manuales como mecánicas, en este caso las cuchillas, son aceros al carbono o aleados fabricados para responder a requerimientos especiales, por lo que las condiciones a las que debe someterse en el proceso de fabricación deben ser cuidadosamente controladas dejando que el acero pueda ser

templado y revenido. Los aceros para herramientas son clasificados según la AISI en 5 grupos, los aceros para trabajo en frío están clasificados en el grupo 3 y son: los templados en aceite, cuyo símbolo es O; los templados al aire, símbolo A; y los indeformables de alto carbono y cromo, cuyo símbolo es D.

GRUPO 3 ACEROS PARA TRABAJO EN FRIO: temple en aceite (Símbolo: O)								
COMPOSICION NOMINAL								
TIPO	C	Mn	Si	Cr	V	W	Mo	
*O1	0.90	1.20	0.25	0.50	0.20	0.50	-----	-----
O2	0.90	1.60	0.25	0.35	0.20	-----	0.30	-----
O6	1.45	0.75	1.00	-----	-----	-----	0.25	-----
O7	1.20	0.30	0.30	0.75	-----	-----	1.75	-----
GRUPO 3 ACEROS PARA TRABAJO EN FRIO: temple al aire (Símbolo: A)								
COMPOSICION NOMINAL								
TIPO	C	Mn	Si	Cr	V	W	Mo	Ni
*A2	1.00	0.60	0.25	5.25	0.40	-----	1.10	-----
A4	1.00	2.00	0.25	1.00	-----	-----	1.00	-----
A5	1.00	3.00	0.25	1.00	-----	-----	1.00	-----
A6	0.70	2.00	0.25	1.00	-----	-----	1.00	-----
A7	2.25	-----	-----	5.25	4.75	1.00	1.00	-----
A8	0.55	-----	-----	5.00	-----	1.25	1.25	-----
A9	0.50	-----	-----	5.00	1.00	-----	1.40	1.50
A10	1.35	1.80	1.25	-----	-----	-----	1.50	1.80
GRUPO 3 ACEROS PARA TRABAJO EN FRIO: alto carbono, alto cromo (Símbolo D)								
COMPOSICION NOMINAL								
TIPO	C	Mn	Si	Cr	V	W	Mo	Co
D1	1.00	0.35	0.35	12.00	-----	-----	1.00	-----
*D2	1.50	0.40	0.40	12.00	0.80	-----	0.90	0.60
*D3	2.15	0.35	0.35	12.00	0.80	0.75	0.80	-----
D4	2.25	0.40	0.40	12.00	-----	-----	1.00	-----
D5	1.50	0.40	0.40	12.00	0.80	-----	0.90	3.10
*D6	2.25	0.40	1.00	12.00	0.20-0.30	1.00	0.2-0.6	-----

Figura 6. Tabla de composición de los tipos de aceros para herramientas.

Adaptado de “Aceros para piezas y herramientas de corte”, por Escudero H. V, 2017.

Los requerimientos para seleccionar el acero adecuado para una herramienta tienen que ver con el tipo de trabajo que va a realizar, la velocidad a la cual va a estar sometida, la resistencia al desgaste, la dureza del material de la herramienta, sus propiedades mecánicas, el grosor del material a cortar y su tenacidad. El método de enfriamiento que menos posibilidad de agrietamiento ocasiona en los aceros de herramientas es el de temple en aire,

el acero D-2 (templado al aire) muestra alta resistencia al desgaste, buena profundidad de endurecimiento y bajos cambios dimensionales en el temple.

Corte	HRc
Cizallas cortas para trabajo en frío, cuchillas desmenuzadoras para plástico de desecho, cuchillas de granulador.....	56-60
Cizallas circulares.....	58-60
Herramientas para corte y desbastado de piezas	
forjadas	
En caliente.....	58-60
En frío.....	56-58
Cuchillas para corte de madera, escariadores, barrenas-fresas.....	58-60

Figura 7. Aplicaciones del acero D-2.

Adaptado de “Diseño de una herramienta: cuchilla para trabajo en frío”, por Flores Rodríguez B.J, 1999.

La deducción para realizar el cálculo de la fuerza necesaria para el corte en una lámina se explica en el apéndice C, de la cual a su vez se puede sacar la ecuación de potencia necesaria para generar dicha fuerza, también existen otras ecuaciones útiles para tener en cuenta en los cálculos derivadas del análisis geométrico y de cuerpo libre en el proceso de contacto de las cuchillas con la lámina.

$$F = \frac{\sigma * t^2}{2 \tan \alpha}$$

F: Fuerza necesaria para efectuar el corte

$\sigma$ : Resistencia última del material

A: Área de la sección transversal al corte

t: espesor de la lámina

$\alpha$ : Ángulo entre la horizontal de la lámina y el punto de contacto de corte

Y la potencia en caballos de fuerza (*horsepower*, [hp]) sería:

$$P = \frac{1,44 * N * V * t^2 * \sigma}{50.000 * \eta}$$

N: Numero de cortes

V: Velocidad lineal de la lámina (ft/min)

t: Espesor (in)

$\sigma$ : Resistencia última del material (psi)

$\eta$ : Eficiencia de la máquina de corte

Volviendo a citar a la empresa *Coldeaceros S.A.*, el acero sugerido para la fabricación de ejes ranurados y barras de torsión es el AISI 8620, el cual tiene buena dureza superficial y gran tenacidad al núcleo.

Composición Química								Propiedades Mecánicas					
C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Mo	Estado del material	Resistencia a la tracción Kg/mm <sup>2</sup>	Límite elástico Kg/mm <sup>2</sup>	Alargamiento %	Reducción de área %	Dureza Brinell
0.18/0.23	0.70/0.90	0.035 max.	0.040 max.	0.015/0.35	0.40/0.60	0.40/0.70	0.15/0.25	Laminado en caliente	65	35	20	40	200/220
								Recocido	55	30	28	50	160/180

*Figura 8.* Propiedades y composición del acero 8620.

Adaptado de “Acero 8620”, por Coldeaceros S.A.

La velocidad recomendada por la ASM para el corte de láminas es 80-100 ft/min que en unidades internacionales equivaldría a 0,41-0,51 m/s. [18] (p27)

---

Otras ecuaciones útiles a la hora de diseñar son las de la fuerza aplicada al eje, las cuales derivan de calcular otras ecuaciones concernientes a la carga que representan las cuchillas y los elementos a lo largo del eje expuestas en el apéndice E.

Un software muy útil para realizar simulaciones de todo tipo, incluyendo simulaciones de análisis estático y de resistencia de materiales es el *SolidWorks* distribuido por la empresa “*3Dassault Systemes*”, en el cual se pueden modelar las piezas de una máquina para ser analizadas ya sea individualmente o en conjunto, como ensamblaje. Uno de los paquetes con el que viene integrado el software es el de *Piezas soldadas*, cuya funcionalidad permite diseñar estructuras de piezas soldadas como una única pieza; mediante el dibujo de un croquis 2D o 3D se define la disposición básica de la estructura. Esta función permite que sea más fácil la asignación de fuerzas y momentos que actúan sobre cada elemento particular de la estructura, sin mencionar, que permite cambiar la geometría del perfil de cada uno de los elementos que componen la estructura. [19]

Otro paquete que viene integrado al software es el de *Simulation*, con el que se pueden ejecutar los análisis de simulación entre los que se encuentra el *análisis estático* donde luego de definir el material, las juntas y las cargas a las que estará sometida la pieza o el ensamblaje, el software realiza un mallado según el método de elementos finitos que predice el comportamiento de un modelo mediante la combinación de la información obtenida a partir de una red de elementos discretos interconectados derivados de tomar en cuenta el volumen, el área de superficie y otros detalles geométricos del modelo general de la pieza, estos elementos pueden configurarse dependiendo de la robustez que necesite el diseño. [20]

---

Dentro del estudio estático se puede usar el asistente para el factor de seguridad, con el cual se puede determinar si la pieza fallará. El asistente arroja el factor de seguridad en cada nodo del modelo, factores de seguridad altos en una región indican sobre diseño, por lo que se puede quitar volumen de dicha zona. Muchos códigos de ingeniería requieren un factor de seguridad entre 1,5 y 3, siempre que en una zona el factor de seguridad este por debajo de este rango de valores significa que la pieza en esa zona fallo y requeriría añadir volumen a la pieza en esa zona o cambiar el material por uno más resistente. [21]

Las computadoras industriales mejor conocidas como PLC's o autómatas programables, procesan todas las señales de entrada de una maquina (sensores, temporizadores, botones, etc) para controlar las salidas (pistones, motores, válvulas) [22]. El variador de frecuencia regula la velocidad de los motores eléctricos para que la electricidad que llega al motor se ajuste a la demanda real de la aplicación, reduciendo el consumo energético del motor entre 20 y 70% [23]. Un sensor de proximidad inductivo puede detectar objetos metálicos que se acerquen al sensor, sin necesidad de tener contacto con el objeto en cuestión, debido a la generación de un campo magnético de alta frecuencia en la bobina del extremo del sensor y que al interaccionar con el objeto induce una corriente. [24]

La guía GEMMA es un diagrama que expone las cuatro situaciones de control en las que puede estar una máquina automatizada, las cuales son: sin alimentar, funcionamiento, parada y defecto. El diagrama expresa mediante rectángulos dichas situaciones y expresa cual es la transición que hará a la maquina pasar a la siguiente situación. [25] (p58)

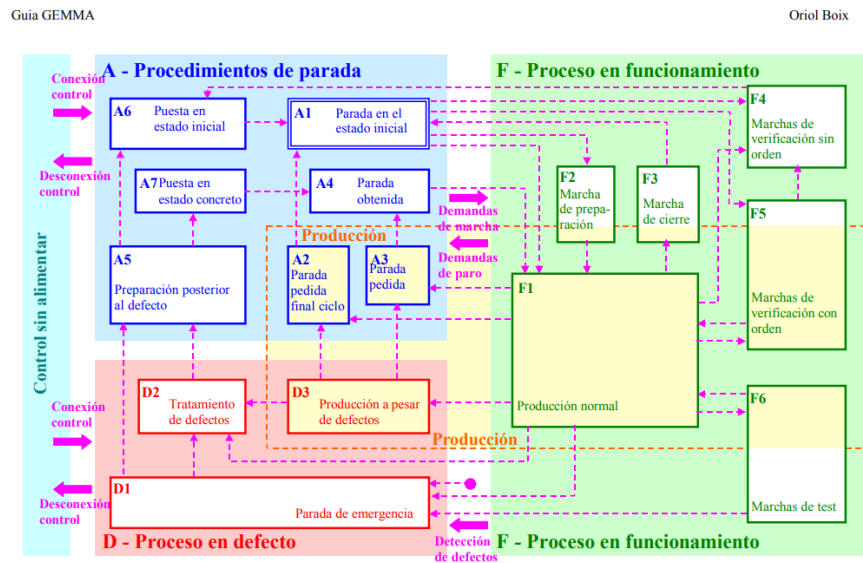


Figura 9. Diagrama general completo de una guía GEMMA.

Adaptado de “Curso de GRAFCET y GEMMA”, por Cortázar E.V, 2006.

## 2.2. Marco Conceptual

*Esfuerzo:* Elongación, deformación o cambio en las dimensiones de un cuerpo como resultado de la aplicación de estrés, expresado como unidad relativa de transformación o como porcentaje.

*Esfuerzo Cortante:* Esfuerzo resultante de las tensiones tangenciales sobre la sección recta de una barra o sobre un plano perpendicular a la superficie media de una lámina o placa.

*Diagrama de esfuerzos:* Diagrama en que se representa el valor de un esfuerzo en cada sección de una barra mediante la distancia de una curva a la directriz de la barra medida perpendicularmente a está.

*Diagrama de momentos:* Diagrama en que se presenta un momento flector o torsor en cada sección de una barra mediante la distancia de una curva a la directriz de la barra, medida perpendicularmente a está.

*Momento:* Con respecto de un eje, producto de una fuerza por la distancia a dicho eje.

*Potencia:* Magnitud que relaciona la energía por unidad de tiempo.

*Velocidad:* Magnitud física que expresa el espacio recorrido por un móvil en la unidad de tiempo.

*Máquina:* Conjunto de cuerpos resistentes, unidos entre sí, con determinados movimientos relativos, que transmiten fuerzas desde una fuente de energía determinada hasta el lugar donde han de ser vencidas las resistencias.

*Eje:* Pieza cilíndrica generalmente maciza con la finalidad de transmitir potencia girando respecto a su eje de simetría.

*Cuchilla:* Parte plana de una herramienta que tiene normalmente un filo y/o un extremo afilado, hechos generalmente de metal.

*Engrane:* Acoplamiento o contacto de los dientes de un par de engranajes o un engranaje y una cremallera.

*Engranaje:* Conjunto de dos ruedas dentadas que encajan entre sí para transmitir movimiento y potencia desde un eje giratorio hasta otro.

*Cadena:* Conjunto de eslabones de uno o varios tipos capaces de articular entre sí y generalmente de engranar con ruedas convenientemente dentadas para hacer posible la transmisión mutua de fuerza y movimiento.

*Piñón*: Rueda dentada de menor tamaño utilizada en las transmisiones.

*Motor*: Máquina capaz de transformar energía eléctrica, o de otro tipo, en energía mecánica de rotación o de traslación.

*Reductor*: Dispositivo que permite reducir la velocidad de giro de un eje aumentando el par disponible.

*Motorreductor*: Motor que tiene acoplado un reductor.

*Lámina*: Plancha de cualquier material extendida en superficie y de poco espesor. [26]

### **2.3. Marco Legal**

Norma IEC 1131-3: Normaliza los lenguajes de programación de los sistemas de control y autómatas incompatibles entre sí. Se usará el gráfico funcional secuencial para generalizar cómo se ejecutará la secuencia de comandos para la automatización del corte de la lámina y para la programación, por lo general en cualquier PLC se usa el lenguaje gráfico de diagrama de contactos, mejor conocido como “*diagrama Ladder*”. [27]

### **2.4. Marco Tecnológico y Científico (Estado del Arte)**

Ricardo Chavarría Cosar menciona en [2] los principales riesgos al manipular este tipo de máquinas, los sistemas de protección más adecuados para eliminar los riesgos y en líneas generales describe los componentes de una cizalla tipo guillotina. Se pueden tomar aspectos puntuales para lograr tomar una decisión con respecto al diseño conceptual.

Alejandro Serrano Huertas y Omar Andres López Madrid en [28] muestran aspectos como: las propiedades de los materiales de herramientas de corte o cuadros comparativos sobre las ventajas y desventajas de diferentes modelos de cizallas, puede ser útil para seleccionar el diseño conceptual más apto.

En la universidad de San Buenaventura cuatro estudiantes diseñaron y construyeron el prototipo de una maquina CNC para cortar y grabar en papel. Este proyecto será útil para determinar las características y el concepto de diseño de una máquina de corte por láser para realizar la comparación con los otros diseños conceptuales. [4]

Edgar Vinicio Iza Carrillo expone en [3] una máquina que realizo para la empresa *IBIMCO S.A.* de Ecuador, con el propósito de cortar planchas de acero galvanizado para carrocerías. Tomando en cuenta que es un diseño desde cero, se pueden tomar varios aspectos para seguir su metodología.

David Diaz muestra en [14] cómo modifica la estructura de una maquina ya existente para adecuarla a nuevas necesidades. Al tener la necesidad de readecuar la máquina debe recalcular las cargas para las cuales fue diseñada originalmente y así conocer que es lo que debe cambiarle, por ello se pueden usar algunos cálculos y elementos para complementar la información.

Sebastián Palacios Arango realizó en [18] una máquina para reducir el tamaño de un rollo de lámina de acero de 150 mm de ancho en varios rollos de 10 mm de ancho. Se pueden tomar referencias de ASM para conocer los parámetros sugeridos para maquinar el corte de una lámina.



### 3.1. Criterios de Diseño

La máquina será usada para el corte de láminas de acero galvanizado, estirado en frío. Las medidas de las láminas son 1220 x 2440 mm y tienen un espesor de 0.7 mm, la máquina estará expuesta a máximo 12 horas de trabajo, debe caber en un espacio máximo de 1750 x 1300 x 1000 mm, deben poderse mover las cuchillas para cambiar la cantidad de cortes entre dos y ocho secciones equidistanciadas.

### 3.2. Descripción de etapas y tareas

Usando la información expuesta en el marco de referencia se deben hacer bocetos generales de los conceptos preliminares sobre los diseños conceptuales, y para seleccionar se pueden usar matrices de decisión por pesos, dándole valores de prioridad a los aspectos y calculando en cada caso el valor, así definiendo al que obtenga el mayor puntaje como el modelo más apto.

Para empezar el diseño en detalle, es necesario definir el esfuerzo último del material a cortar, en este caso la lámina, y los diferentes parámetros de maquinado: la velocidad lineal de la lámina, la eficiencia de la máquina, el grosor de la lámina, etc. Con ello se puede calcular la potencia del sistema. Definiendo y calculando las dimensiones de la cuchilla: grosor, ángulo de perfil, diámetro externo, etc, con las ecuaciones de los apéndices A y D, se puede calcular la velocidad angular del sistema.

Conociendo la potencia y por consecuencia el torque, y la velocidad a los que va a estar sometido el sistema, se selecciona el motor o motorreductor más conveniente para darle suministro de movimiento. La empresa *NORD drivesystems* [29], ofrece en sus catálogos

---

diversos motores y motorreductores. Con esto seleccionado se pueden realizar los cálculos necesarios para diseñar una transmisión de cambio de sentido de giro de un eje a otro por engranajes, teniendo en cuenta la metodología expuesta en el libro de (*Robert L. Mott*) “*Diseño de elementos de máquinas*” en su sección 9, “*Diseño de engranes rectos*”; así como, los cálculos necesarios para diseñar la transmisión desde el motor o motorreductor hasta el eje inferior, siguiendo la metodología del mismo libro en la sección 7, “*Transmisión por bandas y por cadenas*”. [30] (p363-441)

Ya con la transmisión de potencia completamente diseñada, se procede al diseño del eje usando la metodología del libro de mott, en la sección 12, “*Diseño de ejes*”. Con estos aspectos definidos se procedería a realizar las simulaciones usando el software *SolidWorks* con el fin de corroborar que los cálculos hechos son correctos, seguido a esto se deben seleccionar los elementos de control y sensorica necesarios para realizar la lógica de programación, teniendo en cuenta que el material a detectar es metálico y para el control del motorreductor se requiere un variador de frecuencia, para evitar que se dañe el motor por el sobre pico de corriente y un Controlador Lógico Programable (PLC por sus siglas en ingles *Programmable Logical Controller*) que pueda comunicarse con el variador.

Finalmente, con todos los elementos que compondrán la máquina definidos se debe establecer el costo total de la máquina y realizar un cuadro comparativo de ventajas y desventajas con respecto a otras máquinas existentes en el mercado.

### **3.3. Descripción de los productos finales**

Debe haber un dibujo de cada uno de los tres diseños conceptuales mostrando cómo se concibieron los diseños, debe existir un cuadro de ponderación de pesos evidenciando cuál diseño es el apropiado para cumplir los requerimientos, siguiendo los criterios y las metodologías de diseño deben existir cálculos que representen el sustento matemático y físico para los elementos seleccionados, deben adjuntarse imágenes de las simulaciones demostrando que los cálculos efectuados fueron aproximados a los resultados arrojados por software, debe mostrarse el diseño del modelo seleccionado terminado y por último debe mostrarse en un cuadro comparativo entre las máquinas actuales del mercado que más se parezcan a la máquina diseñada mostrando los beneficios que representaría adquirir la máquina para un inversionista.

## **4. Desarrollo**

Para obtener el concepto de la máquina y en consecuencia lograr realizar los diseños conceptuales, es necesario definir la estructura de la máquina a diseñar. Las cizallas tienen diferentes formas y elementos que las componen dependiendo del modelo como se muestra a continuación:

Máquina			
Elementos mecánicos	Instrumentación y automatización	Disposición de la herramienta de corte	Actuador final
Materiales	Sensores	Deslizantes	Hidráulicos
Transmisión de potencia	Controladores	Rotativas	Eléctricos
Juntas	Elementos de potencia	Perpendiculares	Térmicos

*Figura 11.* Componentes generales de las máquinas de corte.

Adaptado de “Diseño de una cizalla industrial para el corte de láminas de acero al silicio utilizadas en transformadores secos de energía eléctrica”, por Serrano Huertas A., López Madrid O. A., 2015.

La figura 11 se lee de arriba abajo, está dividido en cuatro partes que son los cuatro campos de composición general de una máquina cizalladora. Basándose en esta información se puede asumir la existencia de los siguientes tres modelos de cizalla:

<b>Hidraulicas</b>	<b>Rotativas</b>	<b>Láser</b>
Bancada	Rodillos	Tornillos sin fin
Bastidor	Ejes	Acoples
Mesa	Mesa	Mesa
Pisón	Poleas	Láser
Corredora	Bandas	Motores stepper
Cuchilla movil	Piñones	Correas dentadas
Cuchilla fija	Motor	Poleas dentadas
Sistema hidraulico	Cuchillas	Rodillos
Instrumentación y control	Instrumentación y control	Instrumentación y control
Armazón	Armazón	Armazón

*Figura 12.* Componentes particulares de cada modelo.

Dependiendo de la disposición de las cuchillas, las cizallas se emplean en distintos trabajos:

Disposiciones de cizallas			
Cuchilla deslizante			Cuchillas rotatorias
Cuchillas paralelas	Cuchilla inclinada		
Tipo de trabajo	Corte transversal de metal en caliente, como lingotes, planchones, etc.	Corte en frío y en caliente de chapa fina, bandas, flejes, etc.	Recorte de borde de planchas, cizallar longitudinalmente bandas y triturar

*Figura 13.* Trabajos empleados para cada tipo de cuchilla.

Adaptado de “Diseño de una cizalla industrial para el corte de láminas de acero al silicio utilizadas en transformadores secos de energía eléctrica”, por Serrano Huertas A., López Madrid O. A., 2015.

Cada modelo según sus componentes y la forma en como están dispuestos proporcionan a las máquinas diseñadas según se elija una serie de ventajas y desventajas con respecto a los demás modelos:

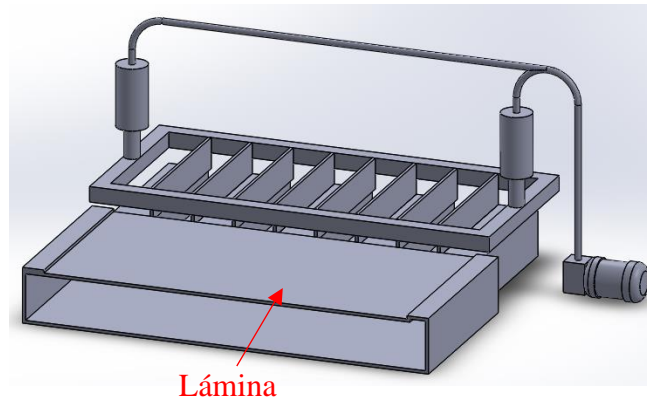
	Láser	Hidraulico	Rotativo
Energia	Gas y electrica	Aceite mineral	Electromagnetismo
Opciones	*Motor stepper *Tubo contenedor	*Cilindros *Motor de paletas *Motor de pistones axiales	*Corriente continua *Corriente alterna
Ventajas	*Preciso *Rápido *No deja residuos	*Rápidos *Alta relación potencia/peso *Alta capacidad de carga *Estabilidad frente a cargas estáticas	*Precisos *Fiables *Fácil control *Sencilla instalación *Silenciosos
Desventajas	*Instalación especial *Condiciones especiales de uso *Costosos	*Difícil mantenimiento *Instalación especial *Frecuentes fugas *Costosos	*Potencia limitada

*Figura 14.* Comparación entre los tres modelos

Adaptado de “Diseño de una cizalla industrial para el corte de láminas de acero al silicio utilizadas en transformadores secos de energía eléctrica”, por Serrano Huertas A., López Madrid O. A., 2015.

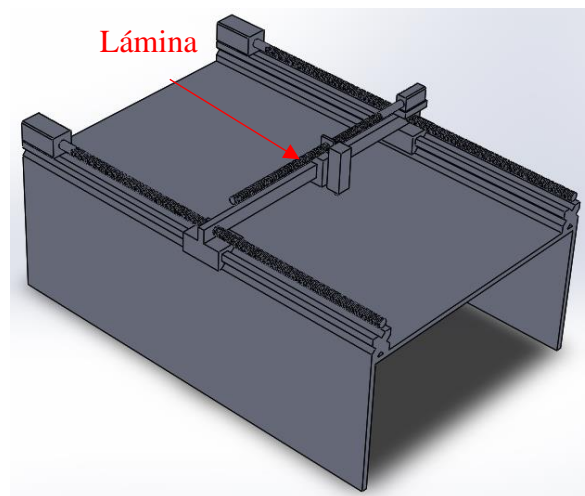
Con base en los criterios de diseño y la información de los cuadros anteriores, se propone como primer diseño conceptual una máquina cizalladora cuyo impulsor sea un sistema hidráulico donde las 8 cuchillas deberían obedecer al principio de cizallado por guillotina, para mover las cuchillas se requeriría un riel con rodillos, esto ocasionaría problemas al momento de asegurar las cuchillas en su lugar, sin olvidar que el aceite se vería regaría por

las partes internas de la máquina por las fugas que se presentan en este tipo de sistemas, la disposición de la máquina se vería de la siguiente forma:



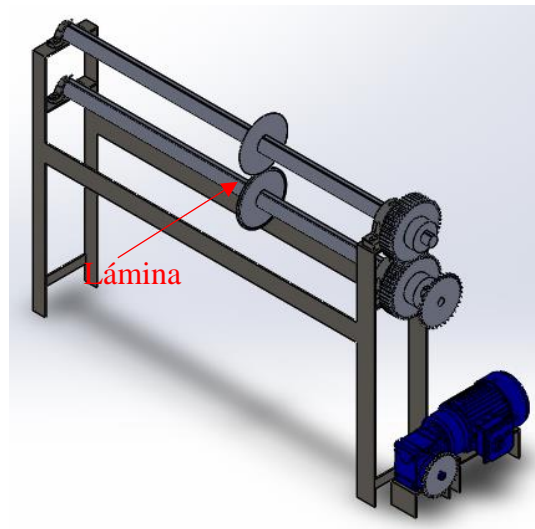
*Figura 15.* Diseño conceptual cizalla hidráulica.

Del mismo modo se propone para el segundo diseño conceptual una máquina cizalladora cuya herramienta de corte sea un láser, para cumplir los requerimientos si bien se podrían usar 8 láser para realizar cada corte, esto se traduciría en multiplicar la cantidad de actuadores que posicionarían cada elemento y con ello el precio de fabricación, por ello es preferible usar solamente un láser a modo de máquina CNC como se muestra en la siguiente figura:



*Figura 16.* Diseño conceptual máquina de corte por láser.

Por último, se propone para el tercer diseño conceptual una máquina cizalladora por slitting, donde las 8 cuchillas puedan deslizarse a través de los ejes y ajustarse con prisioneros, de la siguiente manera:



*Figura 17.* Diseño conceptual cizalla longitudinal.

Para empezar la selección, primero se deben tener en cuenta cuatro criterios fundamentales en cualquier tipo de herramienta, máquina o artefacto, que son: disposición de los elementos dentro de la máquina, ergonomía en la operación del producto, eficiencia con relación a la facilidad en la producción y el costo a priori de la construcción de la máquina. A cada criterio se le debe dar un valor de importancia con respecto a los demás para así tener claro, según los criterios que cumpla cada máquina, cuál de los tres diseños conceptuales tiene mayor valor en cada criterio.

En [31] se explica de forma detallada como realizar la matriz de ponderación de pesos, en ella se asignan valores comparando los ítems de la primera columna con los ítems de la primera fila en la tabla, como se muestra a continuación:

Criterios	Disposición	Ergonomía	Eficiencia	Costo	$\Sigma+1$	Ponderación
Disposición		1	0,5	0	1,5	0,25
Ergonomía	0		0	0,5	0,5	0,08333333
Eficiencia	0,5	1		0,5	2	0,33333333
Costo	1	0,5	0,5		2	0,33333333
					6	

Figura 18. Matriz de ponderación de pesos de los criterios.

De modo que la tabla se lee, por ejemplo: “¿El criterio de disposición es más importante que el criterio de ergonomía?”, y así sucesivamente. Nótese las casillas negras de la tabla, estas denotan que entre sí mismos los criterios no tienen comparación, pues son exactamente iguales, a diferencia de darle un valor de importancia igual a dos criterios diferentes, lo cual si es necesario establecer. El índice de ponderación de cada criterio esta dado de la siguiente manera: se le otorga valor de 1 al criterio que se considere más importante basándose en la información anteriormente dada, valor de 0.5 si se considera que ambos criterios tienen la misma importancia y valor de 0 a los que sean menos importantes.

Siguiendo estas reglas, ahora es necesario darle valor a cada diseño conceptual seleccionado según cada uno de los criterios. El criterio de disposición define para cuál diseño sería más fácil acomodarles sus elementos con respecto a los otros diseños, con el fin de cubrir los requerimientos de los criterios de diseño. Por ejemplo, la cizalla hidráulica tendría problemas para cumplir el requerimiento de mover o quitar cuchillas debido al método que usa, a diferencia de la cizalla longitudinal donde sería más sencillo mover las cuchillas y guardarlas en un espacio.

Disposición	Hidraulico	Rotativo	Láser	$\Sigma+1$	Ponderación
Hidraulico		0	0,5	0,5	0,16666667
Rotativo	1		1	2	0,66666667
Láser	0,5	0		0,5	0,16666667
				3	

Figura 19. Matriz de ponderación del criterio de disposición.

El criterio de ergonomía dicta para cuál de los diseños es más fácil operar el producto (en este caso láminas), quiere decir, por ejemplo, que para el diseño de corte láser tendría que realizar los ocho cortes en forma escalonada, subiendo y bajando a lo largo de la lámina; mientras que en el diseño de cizalla longitudinal solo se tendría que acomodar la cuchilla en su lugar y operar.

Ergonomía	Hidraulico	Rotativo	Láser	$\Sigma+1$	Ponderación
Hidraulico		0,5	0	0,5	0,16666667
Rotativo	0,5		0	0,5	0,16666667
Láser	1	1		2	0,66666667
				3	

Figura 20. Matriz de ponderación del criterio de ergonomía.

En cuanto a la eficiencia, se refiere a cuál de los diseños facilitaría más el proceso de corte de la lámina, por ejemplo, la cizalla hidráulica tendría que realizar mínimo dos cizallados por lámina, a diferencia de la máquina de corte por láser que apenas haría un recorrido.

Eficiencia	Hidraulico	Rotativo	Láser	$\Sigma+1$	Ponderación
Hidraulico		0	0	0	0
Rotativo	1		0,5	1,5	0,5
Láser	1	0,5		1,5	0,5
				3	

Figura 21. Matriz de ponderación del criterio de eficiencia.

En última instancia, el criterio de costo es relativamente el más fácil de explicar y entender, ya que, es el más familiar. Se refiere a que dependiendo de la cantidad de elementos que componen cada diseño y su precio relativo tendrá mayor valor de ponderación el que cueste menos fabricar en cuanto a la compra de sus elementos. Un ejemplo de esto sería que en las cizallas hidráulicas la fabricación de sus cuchillas y su estructura tendrían un mayor costo que la fabricación de las cuchillas y la estructura de la cizalla longitudinal.

Costo	Hidraulico	Rotativo	Láser	$\Sigma+1$	Ponderación
Hidraulico		0	0	0	0
Rotativo	1		1	2	0,66666667
Láser	1	0		1	0,33333333
				3	

Figura 22. Matriz de ponderación del criterio de costo.

Luego de tener cada uno de los valores de ponderación de cada diseño con respecto a los criterios y el valor de ponderación de cada uno de los criterios, se debe multiplicar el valor de ponderación del diseño con respecto a cada criterio con el valor del criterio que le corresponda, para finalmente realizar la sumatoria de dichos valores adquiridos por cada diseño, de modo que el que posea mayor valor será el diseño conceptual más apto. De modo que según la tabla 4-6, se concluye que el diseño conceptual más apto es el de la cizalla longitudinal.

Diseño\Criterio	Metodo	Ergonomia	Eficiencia	Costo	Total	Prioridad
Hidraulico	0,0416667	0,0138889	0	0	0,0555556	3
Rotativo	0,1666667	0,0138889	0,1666667	0,2222222	0,5694444	1
Láser	0,0416667	0,0555556	0,1666667	0,1111111	0,375	2

Figura 23. Índice de prioridad de cada diseño conceptual.

#### 4.1. Diseño

Tomando en cuenta la información del apéndice B, el ángulo de perfil de la cuchilla inferior debe ser de  $3^\circ$  y el de la cuchilla superior debe ser de  $45^\circ$ . En cuanto al grosor de la cuchilla inferior se tomará el valor estándar expuesto en el marco teórico, mientras que para el grosor de la cuchilla superior se usará la regla de [32]:

$$3t < \text{grosor} < 5t$$

Siendo “t” el grosor de la lámina, el valor promedio entre estos dos cálculos sería 2,8 mm; por lo que el valor elegido para el grosor de la cuchilla superior es 3 mm. Según [13] el grosor estándar para las cuchillas inferiores es de 8 mm.

Usando las ecuaciones de los apéndices A y D con la información anterior, el ángulo de cizalladura daría:

$$\alpha = \cos^{-1} \left( \frac{202,95 - 0,7}{2 * 101,6} \right) = 5,54^\circ$$

Usando la ecuación de potencia del apéndice C y asumiendo una eficiencia de 80%, la potencia del sistema sería:

$$Pot_{sis} = \frac{1,44 * 8 * 80 * 0,028^2 * 78,1 * 10^3}{50.000 * 0,8} = 1,41 \text{ Hp} = 1,05 \text{ kW}$$

Para calcular la velocidad angular a la que debe someterse el sistema se usa la velocidad recomendada por la ASM expuesta en el marco teórico y el radio de la cuchilla en la ecuación:

$$\omega = \frac{V}{r} = \frac{0,5}{0,1016} = 4,92 \frac{\text{rad}}{\text{s}} = 46,98 \text{ rpm} \approx 47 \text{ rpm}$$

Los motores comerciales por lo general tienen velocidades angulares superiores a 900 rpm, por lo que lo más sensato es elegir un motorreductor como fuente de potencia. En el

mercado, en general, los motorreductores con valores de potencia mecánica más cercanos al valor de potencia de sistema calculado son de 1,1 kW o 1,47 Hp.

El apéndice F detalla los resultados de los cálculos en el diseño de los engranajes para realizar el cambio de giro entre los dos ejes, según la metodología seguida, el material del cual deben estar hechos los engranajes es el que comprenda los valores de:

$$S_{at} > 10986,2 \text{ psi} ; S_{ac} > 70592,98 \text{ psi}$$

En la tabla 9-3 del libro Mott, se especifica que el material más cercano a estos valores es el acero templado por llama o por inducción, grado 1, cuya dureza HRC es de 50.

El apéndice G muestra los resultados de cálculos necesarios para el diseño de transmisión de potencia por cadenas desde el motorreductor hacia los ejes.

Usando las ecuaciones del apéndice E se puede empezar el diseño de los ejes, por lo que tenemos:

$$F_{corte} = \frac{0,7^2 * 54,876}{2 \tan(2 * 5,54)} = 68,65 \text{ N}$$

$$F_{Ctotal} = \frac{68,65}{\cos(5,54)} = 68,96 \text{ N}$$

$$F_{t1} = 68,65 * \tan(5,54) = 6,65 \text{ N}$$

El torque se calcula como:

$$T = \frac{Pot}{\omega} = \frac{1100}{4,92} = 223,6 \text{ N.m} \rightarrow F_{t2} = \frac{223,6}{0,1016} = 2,2 \text{ kN}$$

$$F_{total} = \sqrt{(6,65 + 2200)^2 + (8 * 68,96)^2} = 2273,97 \text{ N}$$

La lámina está sometida a carga distribuida, debido a que el número de las cuchillas y, por lo tanto, las distancias entre ellas van a variar. La máxima carga distribuida sería la provocada por las 8 cuchillas, como uno de los criterios de diseño es que dichas distancias entre cuchillas

siempre van a ser equivalentes entonces el DCL (Diagrama de Cuerpo Libre) de la lámina será:

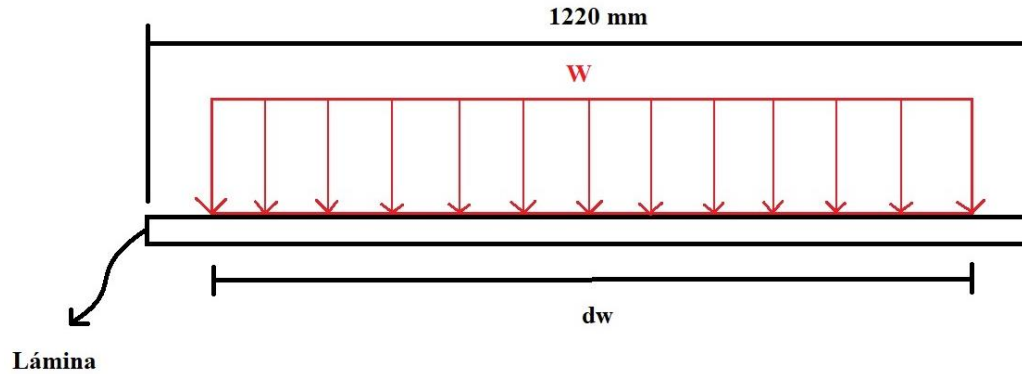


Figura 24. Diagrama de cuerpo libre de la lámina.

La distancia entre las cuchillas resultaría:

$$DC = \frac{1220}{9} = 135,5 \text{ mm}$$

Entonces:

$$dw = 1220 - 2 * 135,5 = 949 \text{ mm}$$

$$W = \frac{2274}{0,949} = 2396,2 \frac{N}{m}$$

La fuerza que ejerce la Catarina sobre el eje inferior por efecto del torque es:

$$F_p = \frac{T}{r} = \frac{223,6}{0,08785} = 2545,2 \text{ N}$$

Y la fuerza que ejerce el engranaje sobre ambos ejes es:

$$F_E = \frac{223,6}{0,1016} = 2200,7 \text{ N}$$

Con esto definido se puede proceder al diseño del eje, para establecer la longitud total del eje, se dividió el eje en tres tramos: el tramo del eje donde se deslizan las cuchillas, el tramo del eje donde estará cada chumacera y el tramo del eje donde irán la catrina y el engranaje.

El primer tramo debe comprender la suma de las longitudes de: la lámina = 1220 mm, los espacios entre la lámina con la chumacera en  $R_B$  y la lámina con el espacio donde se van a guardar las cuchillas igual a 30 mm y el propio espacio donde se van a guardar las cuchillas (el cual comprendería la suma de los grosores de las cuchillas multiplicado 7 veces, ya que, por lo menos permanecerá una cuchilla en cada eje) que es igual a 77 mm, por lo que la longitud total del primer tramo sería 1327 mm. El segundo tramo lo comprenderían las dos chumaceras que debido a un diseño anterior de los ejes que se había hecho para una transmisión por bandas donde ya se tenían seleccionados los rodamientos y sus dimensiones, más o menos sería 112 mm. El último tramo lo conformarían el ancho de la Catarina más el del engranaje, tomando como base los elementos previamente diseñados y los catálogos comerciales actuales se sabe que esa distancia sería aproximadamente 84 mm. Lo que significaría que la longitud del eje para su diseño sería aproximadamente de 1523 mm.

Ahora se realiza el procedimiento que se muestra en el apéndice H para definir los diámetros del eje en cada tramo, lo cual nos entrega los siguientes resultados:

$$D_{catarina} = 0,956 \text{ in} = 24,28 \text{ mm}$$

$$D_{engranaje} = 1,382 \text{ in} = 35,1 \text{ mm}$$

$$D_{R_B} = 1,877 \text{ in} = 47,67 \text{ mm}$$

$$D_{cuchillas} = 2,055 \text{ in} = 52,19 \text{ mm}$$

$$D_{R_A} = 0,29 \text{ in} = 7,37 \text{ mm}$$

Para la automatización de la máquina se tendrán en cuenta los siguientes parámetros:

- Seguridad mientras el operador acomoda y ajusta las cuchillas.
- Puesta en marcha por detección de sensor (existe producto).

- Parada por detección de sensor (No hay más producto).
- Paro de emergencia.
- Alarma de sensor dañado.

Siguiendo la norma IEC 1131-3 expuesta en el marco legal, se procede con el diseño de la lógica automatización de la siguiente manera:

Entradas:

- Sensor de puerta cerrada  $\equiv$  SPC
- Sensor de lámina en la entrada  $\equiv$  SLE
- Sensor de lámina en la salida  $\equiv$  SLS
- Botón de parada de emergencia  $\equiv$  PARO

Salidas:

- Piloto rojo (alarma)  $\equiv$  PR
- Marcha del motorreductor  $\equiv$  MM
- Marcha de la banda  $\equiv$  MB

Condiciones: Existirán dos sensores SLE y dos SLS, con el fin de detectar si uno de los dos falla y mantener la máquina en operación de ser así mientras se cambia el sensor defectuoso. Cuando la puerta de las cuchillas esté abierta se desactivará la señal de SPC y la máquina aunque esté encendida y exista producto no podrá dar marcha la máquina. La marcha empieza con la máquina encendida, la puerta cerrada (SPC activo), uno de los dos SLE activo y el PARO desactivado; primero, MM iniciará de forma suave e irá subiendo hasta llegar al valor máximo de velocidad, luego empezará MB. Cuando ambos SLS estén desactivados, cuando el PARO este activado o cuando la puerta este abierta (SPC

desactivado) se termina la marcha desactivando MM y MB al tiempo. Si uno de los dos SLE o uno de los dos SLS fallan se tiene que encender PR sin que se pare la marcha.

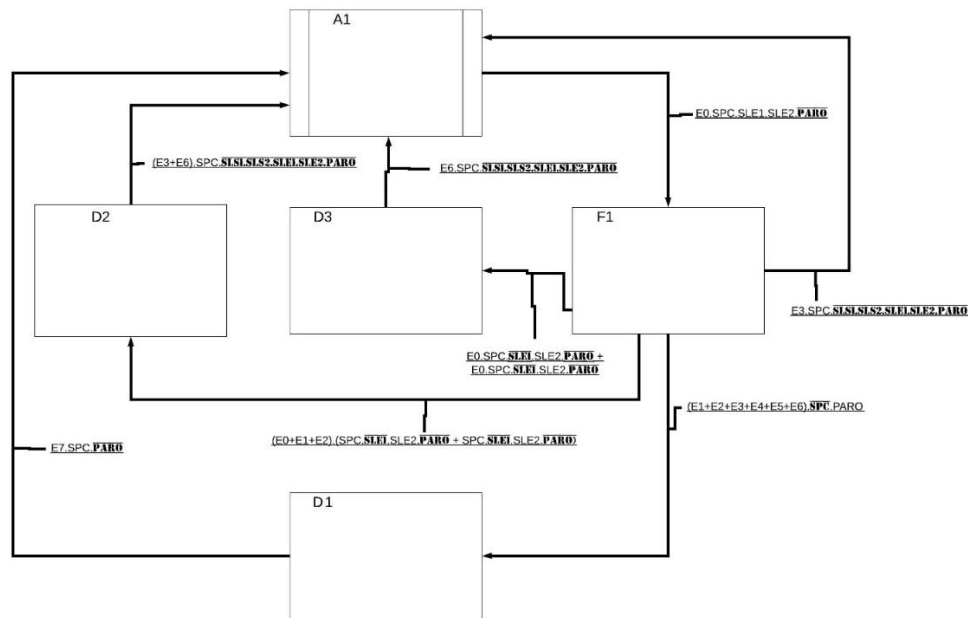


Figura 25. GEMMA de la máquina.

Se escogieron las etapas de F1 que es la producción normal, ya que, en todo proceso de una máquina debe existir esta etapa, A1 que es la parada en el estado inicial para asegurar que la máquina no inicie antes de que el operario disponga todo en su lugar, D3 que es la producción a pesar de los defectos porque existieran situaciones como las de un sensor defectuoso en las cuales no es necesario parar la máquina, D2 que es el tratamiento de defectos para que la máquina continúe operando mientras se cambian los sensores defectuosos y finalmente la D1 que es el paro de emergencia por si algo no va bien con la operación de la máquina.

Los GRAFCET pertenecientes a cada situación son los siguientes:

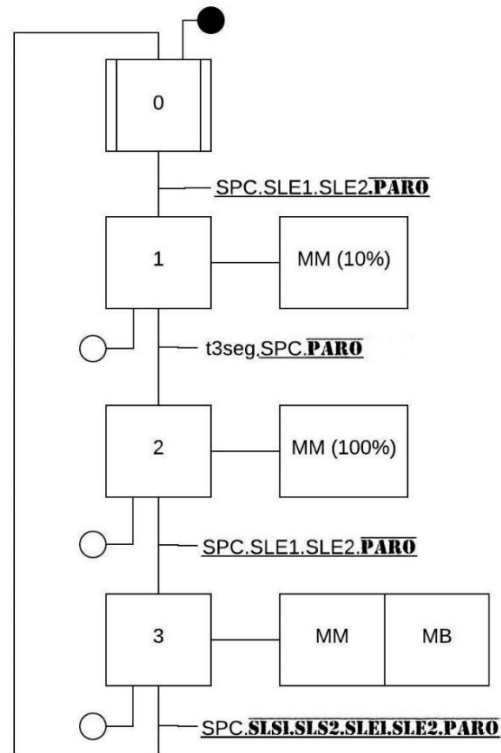


Figura 26. F1 desde A1.

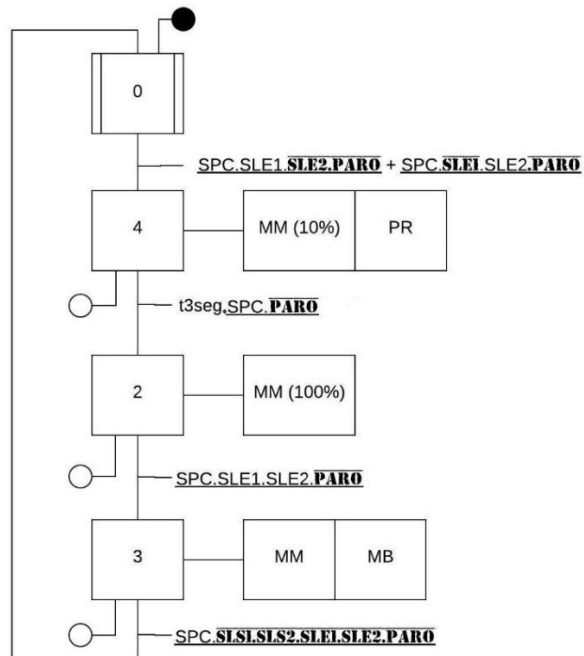


Figura 27. D2 desde A1 (parte 1).

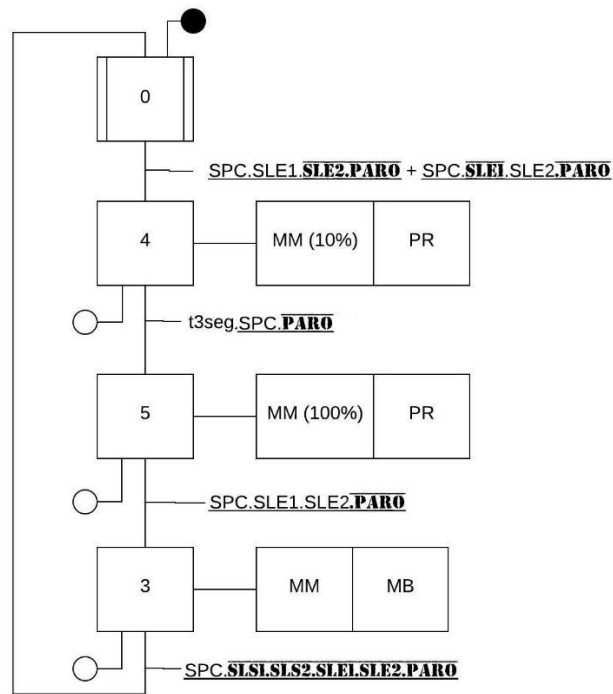


Figura 28. D2 desde A1 (parte 2).

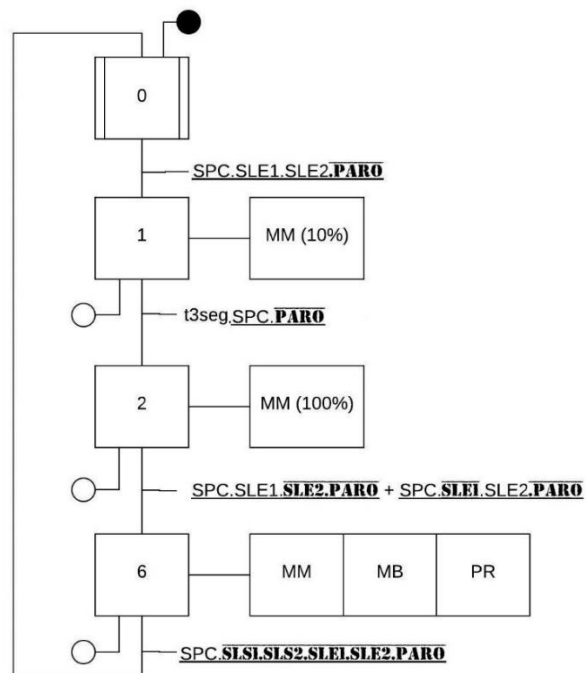


Figura 29. D2 desde A1 (parte 3).

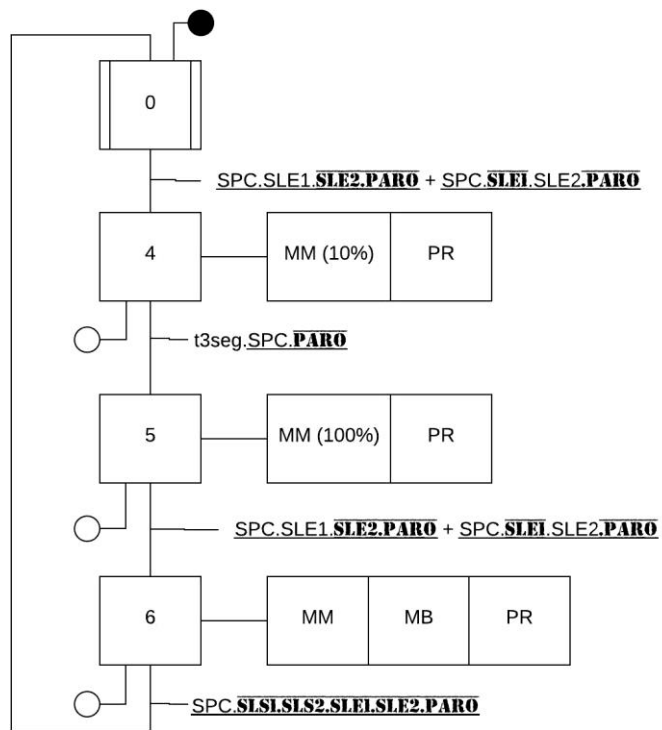


Figura 30. D3 desde A1.

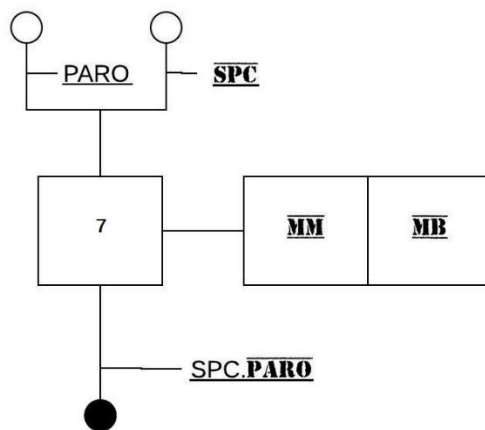


Figura 31. D1.

La programación en lenguaje *Ladder* puede verse en el apéndice M.

## 4.2. Simulaciones

Para validar los cálculos hechos en el diseño de los ejes se simularon los diagramas de cortante y momento, mostrados en seguida:

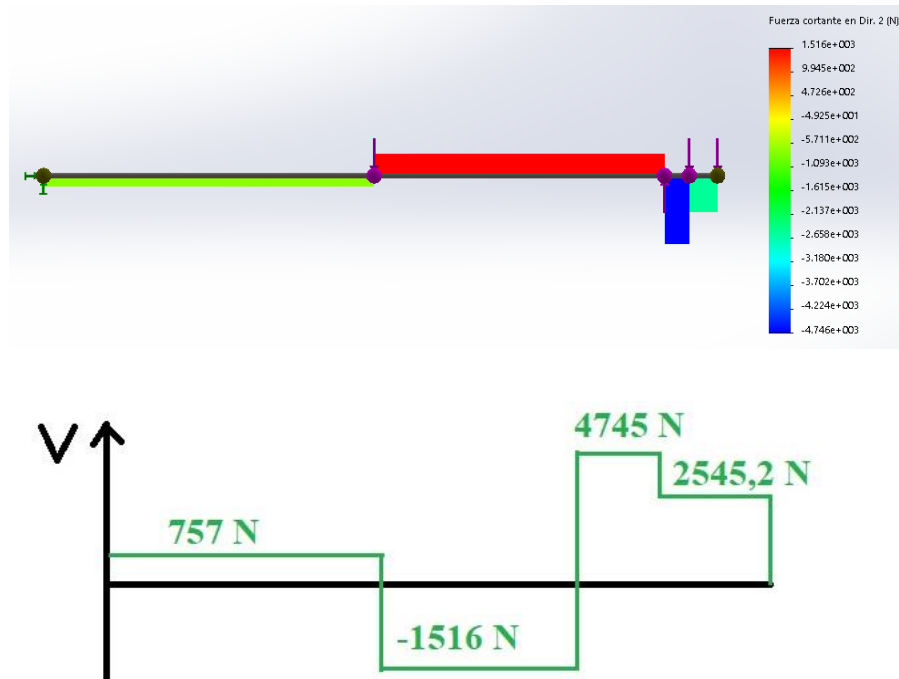


Figura 32. Diagrama de cortante del eje inferior.

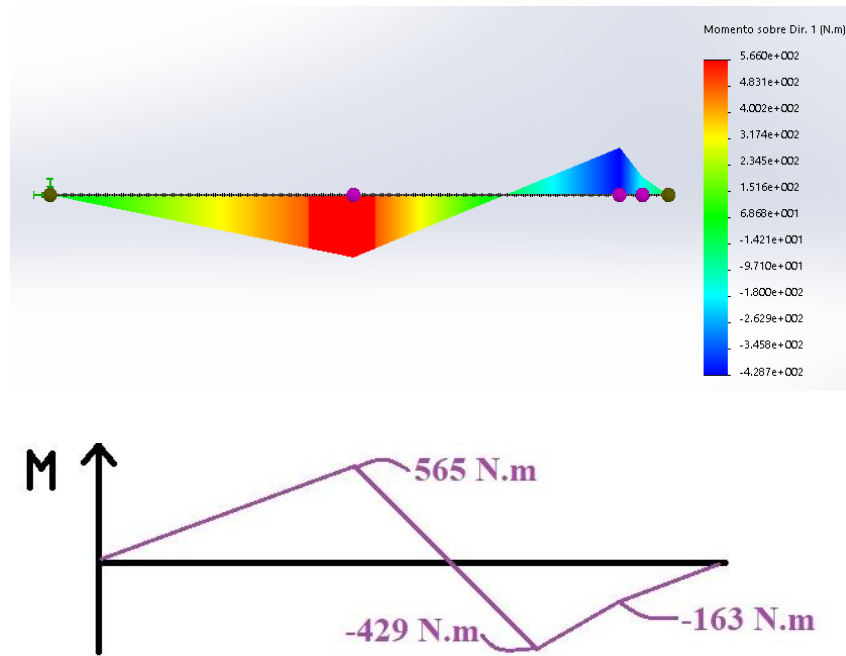


Figura 33. Diagrama de momento del eje inferior.

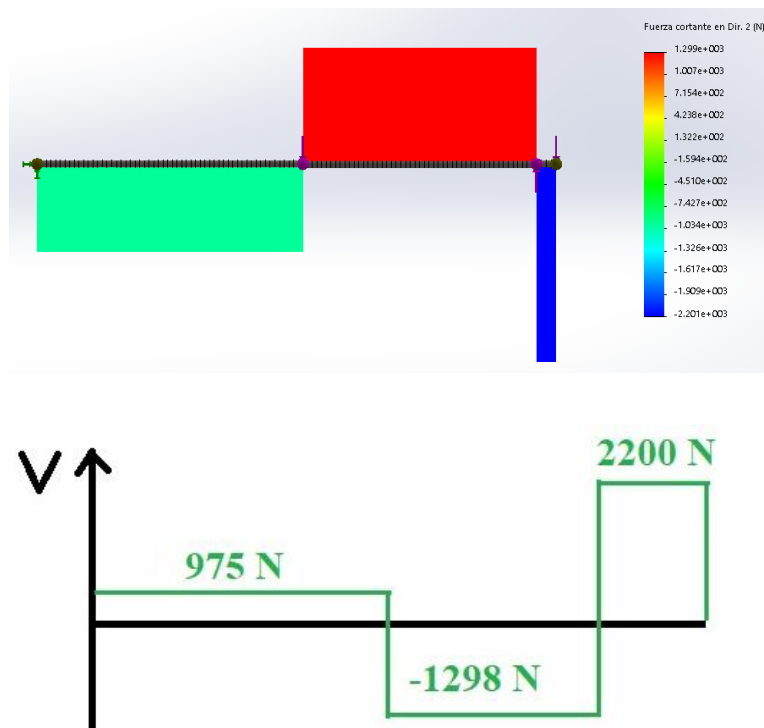


Figura 34. Diagrama de cortante del eje superior.

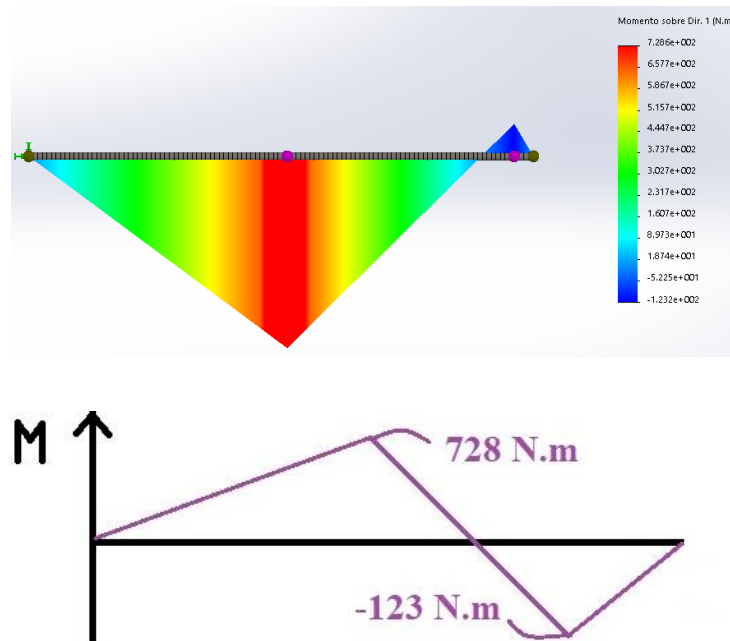


Figura 35. Diagrama de momento del eje superior.

La barra a la derecha de la imagen muestra los valores de cortante y momento según corresponda mediante una convención de colores. En las simulaciones se nota un esquema que representa el diagrama, si se fijan en las imágenes de las simulaciones y las comparan con los diagramas hechos en el apéndice H pueden notar que el esquema de la simulación se ve como reflejo del hecho en los cálculos, es decir los valores están invertidos (los positivos son negativos y viceversa), esto se debe a que *SolidWorks* toma como referencia la junta fija determinando que al final de dicha junta deben llegar los valores a cero por lo que la simulación inicia el trazado del esquema desde el extremo donde se encuentra la fuerza “ $F_p$ ” mientras que en los cálculos se inició el trazado desde la reacción “ $R_A$ ”, sin embargo, se puede notar que los valores absolutos coinciden con los calculados.

Para diseñar una estructura se usan análisis de elementos finitos, debido a que este método de forma matemática es demasiado largo y engorroso, se dificultaba el diseñar estructuras

por la facilidad de cometer errores a la hora del cálculo, pero con la mejora de la tecnología en computación se logró que este método fuera más fácil de usarse. *SolidWorks* es capaz de realizar simulaciones de estructuras mostrando en cada elemento las tensiones a las que estará sometido, los desplazamientos que sufrirán y el factor de seguridad; también es capaz de arrojar en cuál de los elementos es mayor tanto la tensión como el desplazamiento y en cuál es menor. Para miembros estructurales *SolidWorks* usa el mallado tipo viga que según [33] es un elemento de línea (1D) definido por dos puntos finales y una sección transversal, los cuales pueden resistir cargas axiales, de flexión, cortantes y de torsión; en este mallado el software define las propiedades transversales y detecta las juntas. En [34] se describe que en las opciones de mallado se puede optar por una calidad de malla en borrador o en alta, para este caso se simuló por defecto (es decir, un punto medio entre borrador y alta) y también en alta, pero no existían mayores cambios en los valores arrojados por ambos casos, por lo que se usaron las simulaciones hechas por defecto. La estructura que soportará las cargas a las que estará sometido el sistema arrojaron los siguientes resultados:

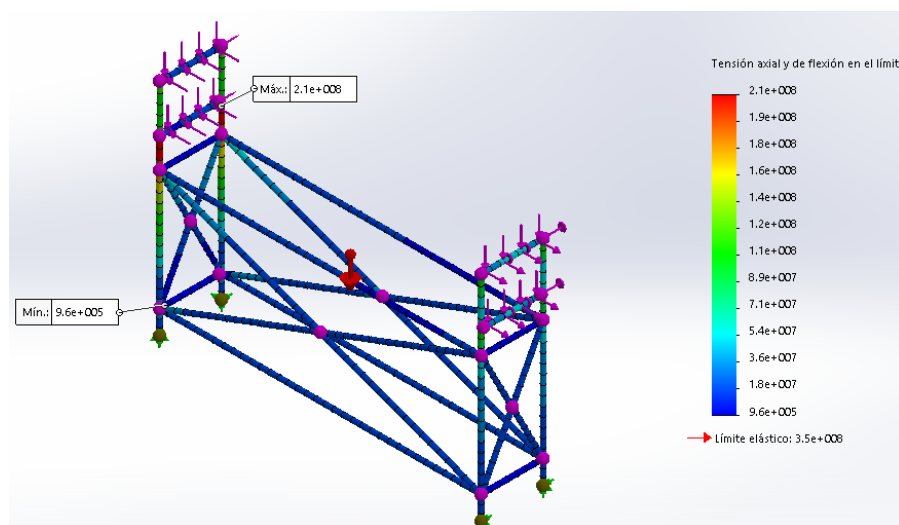


Figura 36. Simulación de tensiones a las que estará sometida la estructura.

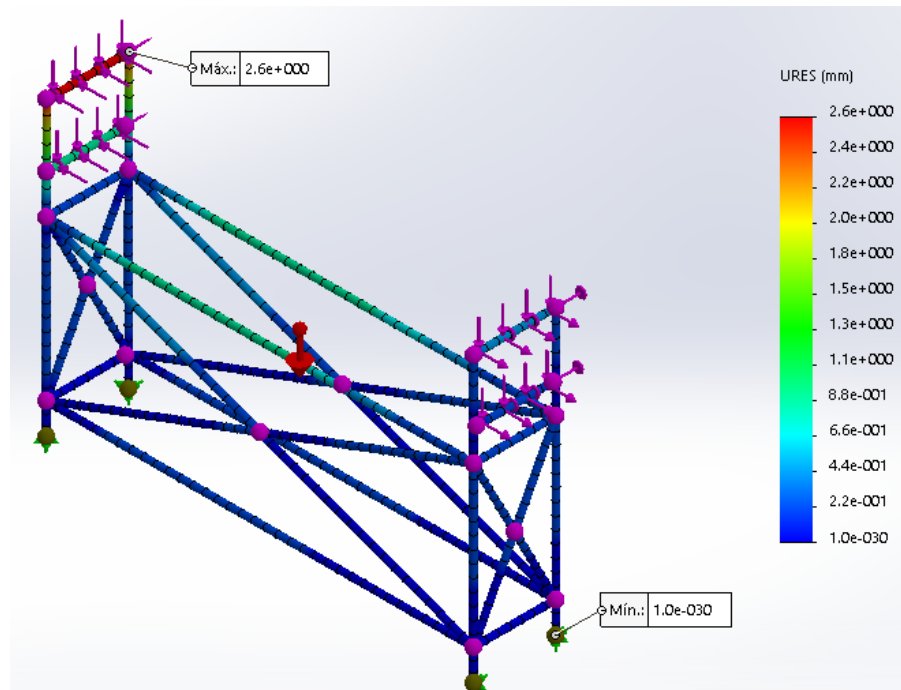


Figura 37. Simulación de desplazamientos de la estructura.

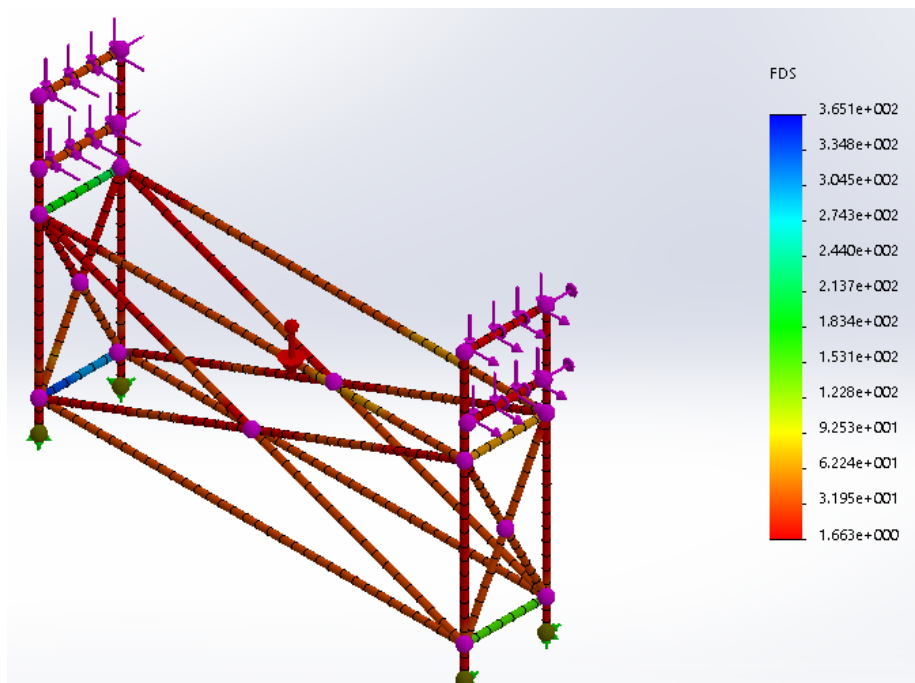


Figura 38. Simulación del factor de seguridad de la estructura.

Nombre de estudio	Análisis estático 1
Tipo de malla	Malla de viga
Número total de nodos	525
Número total de elementos	509
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss)	00:00:05

Figura 39. Detalles de la malla de la estructura.

Las fuerzas tomadas en cuenta para hacer la simulación resultaron de la sumatoria de las cargas estáticas que representan: el peso de las cuchillas, traducido en los puntos  $R_A$  y  $R_B$  (al extremo de la estructura en dirección “x” negativo se encuentra  $R_A$ ) como la mitad de la fuerza de ese peso y un momento cuya magnitud sería la distancia a el punto medio donde esta esa carga multiplicada por la carga misma, el peso del eje, representado en ambos puntos realizando el mismo análisis, y los pesos del engrane y el piñón, traducidos en  $R_B$  usando el mismo análisis; con los máximos valores de las cargas dinámicas  $F_{Total}$ ,  $F_E$  y  $F_p$ , también traducidas a ambos puntos según el análisis de las cargas estáticas y con el efecto de la gravedad o peso de la estructura como tal.

En cuanto a la base donde se encontrará el motorreductor, se realizó un modelo de estructura 2, los resultados de su respectiva simulación se muestran a continuación:

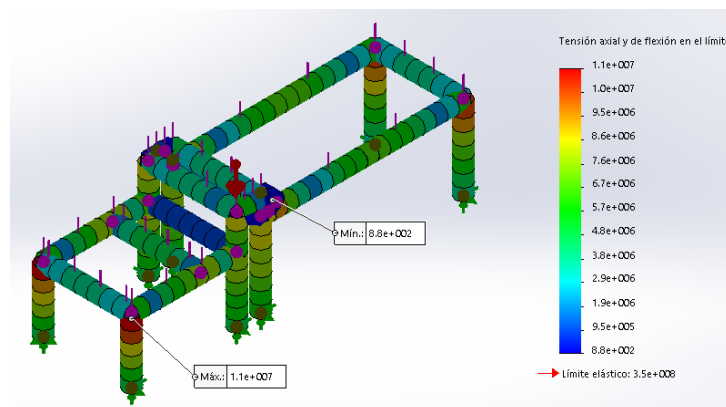


Figura 40. Simulación de tensiones a las que estará sometida la estructura 2.

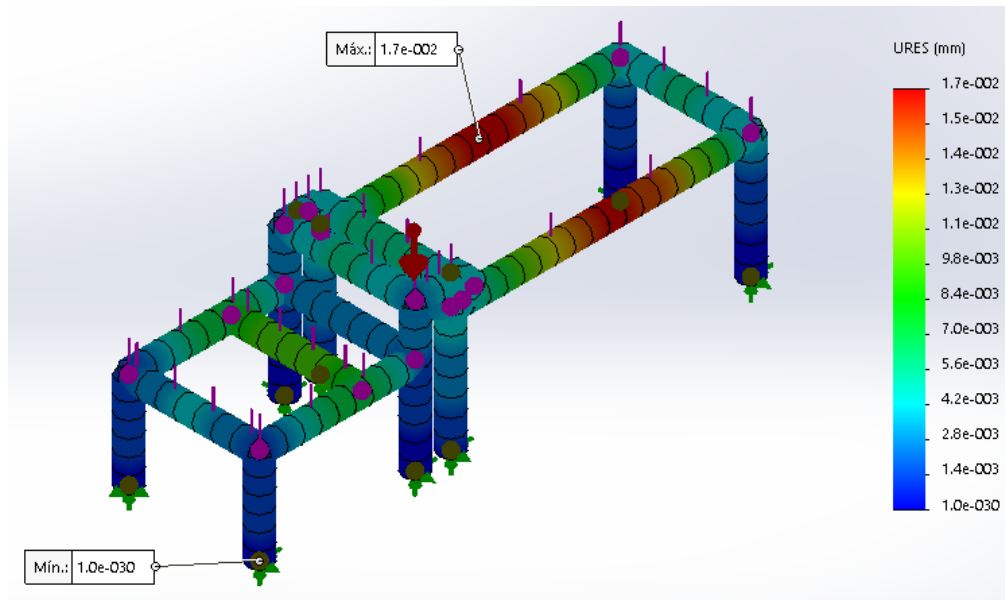


Figura 41. Simulación de desplazamientos en la estructura 2.

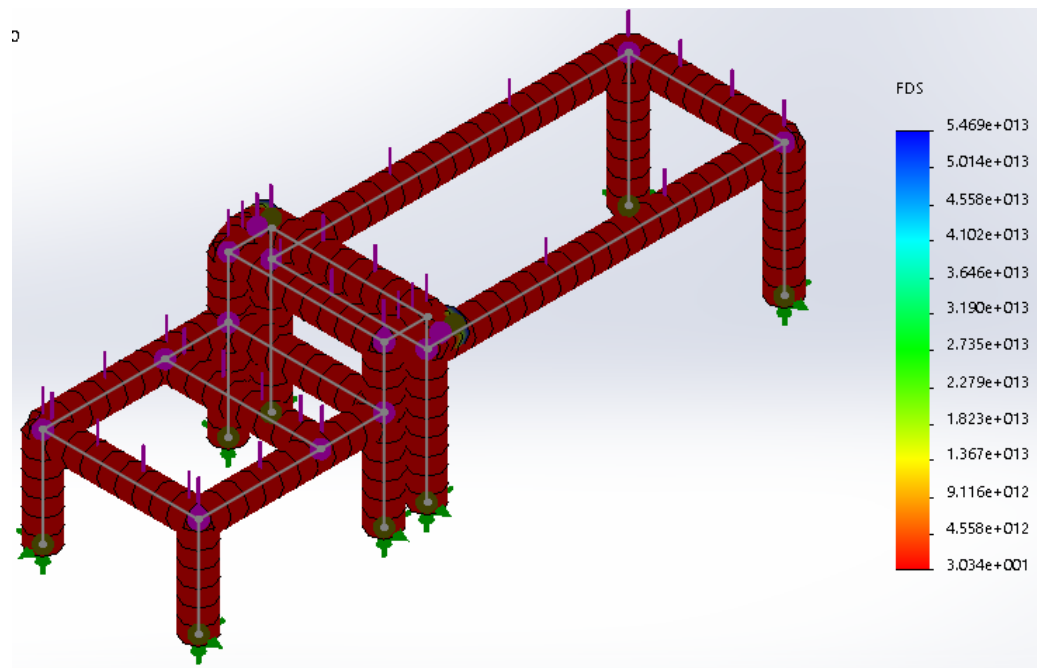


Figura 42. Simulación del factor de seguridad de la estructura 2.

---

Nombre de estudio	Análisis estático 1
Tipo de malla	Malla de viga
Número total de nodos	232
Número total de elementos	216
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss)	00:00:05

*Figura 43.* Detalles de la malla de la estructura 2.

La única fuerza a tener en cuenta en esta estructura 2, es la carga estática que representa el peso del motorreductor.

### 4.3. Resultados

- ✓ El claro horizontal entre las cuchillas superiores e inferiores debe ser de 0.056 mm, el traslape vertical entre las cuchillas superiores e inferiores debe ser de 0.25 mm, el diámetro de las cuchillas debe ser de 8 pulgadas o 203.2 mm, el grosor de las cuchillas inferiores debe ser de 8 mm, el grosor de las cuchillas superiores debe ser de 3 mm, el ángulo de perfil de las cuchillas inferiores debe ser de 3° y el ángulo de perfil de las cuchillas superiores debe ser de 45°.
- ✓ El motorreductor que servirá de suministro de potencia y movimiento a la máquina de corte longitudinal debe tener características similares o superiores a las siguientes descritas: 1.1 kW de potencia mecánica, 57 rpm de velocidad angular y 60 Hz para operación con la red eléctrica colombiana.
- ✓ Los dos engranes rectos deben tener ángulos de presión de 20°, pasos diametrales iguales o inferiores a 8, el diámetro de paso debe ser de 8 pulgadas, el ancho de la cara mínimo debe tener 1.5 pulgadas o 38.1 mm.

- 
- ✓ La cadena de rodillos ANSI debe ser número 50, es decir, debe tener paso de 5/8 de pulgada, debe tener una longitud total de 1762.1 mm o 69.375 pulgadas.
  - ✓ El piñón que irá conectado al eje del motorreductor debe tener 28 dientes, debe tener un diámetro de paso similar a 141.78 mm, el ángulo de contacto entre el piñón y la cadena debe ser más o menos de  $177.2^\circ$ .
  - ✓ La Catarina debe tener 34 dientes, debe tener un diámetro de paso de 172.05 mm, el ángulo de contacto entre la Catarina y la cadena debe ser más o menos de  $182.8^\circ$ .
  - ✓ Los ejes deben ser de acero AISI 8620 o cuya resistencia sea igual o superior, el eje inferior debe tener en el tramo de la Catarina una longitud de 34 mm y un diámetro de 1 pulgada o 25.4 mm, ambos ejes deben tener en el tramo de los engranes una longitud de 152.4 mm y un diámetro de 1.5 pulgadas o 38.1 mm, en el tramo de la reacción de  $R_B$  una longitud de 53.6 mm y un diámetro de 50 mm, en el tramo de  $R_A$  una longitud de 31.4 mm y un diámetro de 0.5 pulgadas o 12.7 mm, y deben fabricarse según los planos del apéndice Q.
  - ✓ Las chumaceras deben tener un diámetro interno de 50 mm y 12.7 mm y deben poder soportar las cargas calculadas como reacciones  $R_A$  y  $R_B$ , los tornillos para asegurar las chumaceras son de 10 mm de diámetro de rosca para  $R_A$  y de 16 mm de diámetro de rosca y un largo de más de 50 mm.
  - ✓ El material de las estructuras debe ser AISI 1020 o cuyo esfuerzo último sea superior a 420 MPa, las dimensiones de dicha estructura deben obedecer a los planos mostrados en el apéndice Q.
  - ✓ El variador de frecuencia seleccionado es el ofrecido por *Siemens* modelo 6SL3210-5BB17-5UV1.

- ✓ El PLC seleccionado es el *Siemens* modelo S7-1200.

#### 4.4. Discusión de resultados

El motorreductor de sinfín universal, modelo SK-1SI-75-IEC90-90S/4 de la empresa *NORD*, de 4 polos y que opera a 60 Hz, posee las características óptimas para suministrar potencia al sistema con 1.1 Kw de potencia mecánica y 57 rpm de velocidad angular (ver apéndice I).



*Figura 44.* Motorreductores de sinfín NORD.

Adaptado de “Motorreductores de sin fin”, por NORD.

La empresa *Martín* ofrece diversidad de engranes rectos, entre otros, están los engranes cuya referencia es TS648 de 20° de ángulo de presión, paso diametral de 6, para que el diámetro de paso sea de 8 pulgadas el número de dientes debe ser de 48 (esto disminuiría  $S_t$  y  $S_c$ , por lo tanto, cumpliría con los cálculos) y ancho de cara de 2 pulgadas (ver apéndice J).



*Figura 45.* Engrane Martín de 20°.

Adaptado de “Transmisión de potencia”, por Martín.

La empresa *Tsubaki* ofrece todo tipo de cadenas incluyendo cadenas de rodillos de todo tipo de números o pasos entre ellas la denominada ANSI RS50, el largo de la cadena es sobre pedido.



*Figura 46.* Cadena #50 Tsubaki.

Adaptado de “ANSI Roller Chains, RS50”, por Tsubaki.

Martín también ofrece tanto el piñón como la Catarina, con sus modelos 50B28 y 50B34 mostrados en la sección 10B del catálogo (ver apéndice K).



*Figura 47.* Rueda dentada martín (piñón, Catarina).

Adaptado de “Transmisión de potencia”, por Martín.

Con respecto a los ejes, es necesario mandarlos a fabricar según las especificaciones listadas en el diseño. La empresa SKF ofrece gran variedad de rodamientos y tiene todo tipo de modelos de chumaceras, las referencias de las chumaceras ideales para cubrir las necesidades son: SY-1/2TF y SY-50TF (ver apéndice L).



*Figura 48.* Chumacera SKF.

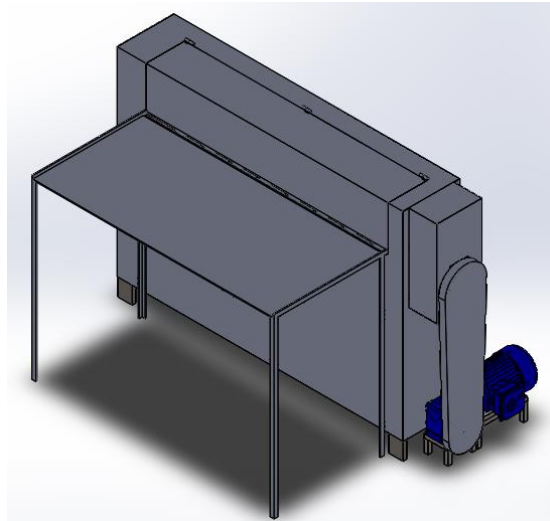
Adaptado de “Productos”, por SKF.

---

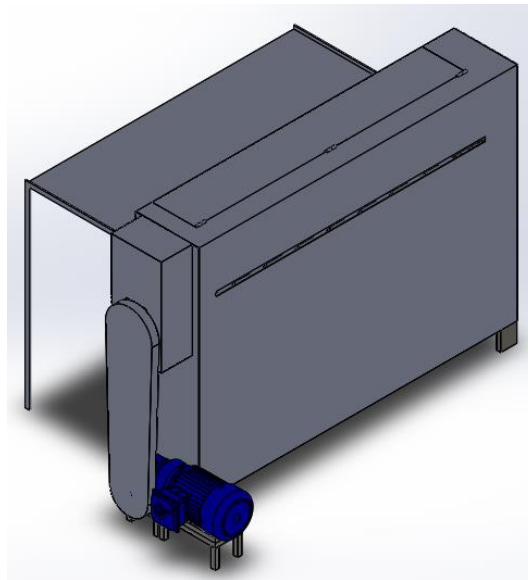
En la figura 36 se puede notar que el esfuerzo máximo al que estará sometida la estructura general tiene un valor de 210 MPa, esto indica que el material seleccionado en la simulación (AISI 1020) para la composición de la estructura cumple con resistencia de sobra pues su resistencia ultima es de 420 MPa y como su límite de fluencia es de 352 MPa se puede asumir que su deformación va a ser insignificante pues en la figura 37 se nota que el desplazamiento máximo será de 2.6 mm, en cuanto a la forma y disposición de la estructura por la figura 38 podemos notar que el factor de seguridad mínimo es de 1.66, por lo que la estructura con ese material, forma y disposición sería aceptable para disponer allí cada uno de los elementos.

Observando la figura 40 se nota que el esfuerzo máximo al que estará sometida la estructura 2 es de 12 MPa, del mismo modo que con la estructura general el material seleccionado cumple y por la figura 41 también podemos ver que el desplazamiento máximo será de 0.017 mm, y en la figura 43 se nota que el factor de seguridad mínimo es de 30.34, entonces de igual manera la estructura 2 sería aceptable para servir de base para el motorreductor.

La lista final de componentes, así como el plano explosionado se muestran en el apéndice Q. El modelo final ensamblado de la máquina se muestra a continuación:



*Figura 49.* Vista isométrica frontal de la máquina terminada.



*Figura 50.* Vista isométrica trasera de la máquina terminada.

Los costos de cada componente se pueden ver en los apéndices N y O. Por lo tanto, el costo total de la fabricación de la máquina se muestra en la siguiente tabla:

Componente	referencia	empresa	precio unitario	cantidad	total
Motorreductor	SK 1SI 75 - IEC90 - 90 S/4	NORD drivesystems	\$ 1,808,495.00	1	\$ 1,808,495.00
Piñón	50B28	martin	\$ 637,100.00	1	\$ 637,100.00
Catarina	50B34	martin	\$ 623,000.00	1	\$ 623,000.00
Cadena	Ansi #50	tsubaki	\$ 286,033.00	1	\$ 286,033.00
Engrane	TS648	martin	\$ 2,426,700.00	2	\$ 4,853,400.00
Eje	Superior e inferior	Consultacton	\$ 7,557,000.00	1	\$ 7,557,000.00
Chumacera	SY 50TF	SKF	\$ 184,600.00	2	\$ 369,200.00
	SY 1/2TF	SKF	\$ 117,800.00	2	\$ 235,600.00
Cuchilla	según requerimientos	Jinhai	\$ 1,298,430.00	16	\$ 20,774,880.00
Estructura	tubo cuadrado 20x20x2 mm	Schmeidekult	\$ 205,945.00	15 m	\$ 205,945.00
	tubo rectangular 80x20x2 mm	Schmeidekult	\$ 183,291.00	6 m	\$ 183,291.00
Tornillos	M10	AHC	\$ 79,511.00	1	\$ 79,511.00
Variador de frecuencia	6SL3210-5BB17-5UV1	Siemens	\$ 590,000.00	1	\$ 590,000.00
PLC	S7-1200	Siemens	\$ 1,370,000.00	1	\$ 1,370,000.00
Banda	CT60W30	Keler	\$ 689,900.00	1	\$ 689,900.00
Sensor Inductivo	lj12a3-4-z/bx	Macronica	\$ 16,000.00	4	\$ 64,000.00
Final de carrera	KW11-3Z		\$ 1,200.00	1	\$ 1,200.00
<b>Total</b>			<b>\$ 18,075,005.00</b>		<b>\$ 40,328,555.00</b>

Figura 51. Costo de fabricación de la máquina.

El costo de diseño se muestra en la siguiente figura:



CONCEPTO	Horas por	Valor Hora	Dedicación	TOTAL
	Semana	[Pesos]	[Semanas]	[Pesos]
Personal 				
Autor del proyecto	56	\$9,200	11	\$5,667,200
			SUBTOTAL	\$5,667,200
Equipos 				
equipo de cómputo con acceso a red	56	\$3,000	11	\$1,848,000
			SUBTOTAL	\$1,848,000
SUBTOTAL GENERAL				\$7,515,200
		TOTAL GENERAL		\$7,515,200

Figura 52. Costo de diseño de la máquina.

Cabe aclarar que hay que tener en cuenta que los precios expuestos en la figura 51 son precios sacados de páginas que no incluyen obligaciones tributarias y aranceles (basado de la sugerencia de cálculos NIIF). Por lo que se necesitaría añadir un 30% del valor total a

dicho valor para considerar un valor más aproximado al real, entonces el precio total de fabricación de la maquina vendría siendo más o menos:

$$\text{Precio Real estimado} = 40'328.555 + 40'328.555 * 0.3 = 52'427.121$$

También cabe resaltar que algunos de los precios incluidos en la tabla en precios promedio entre los costos máximos y mínimos que las paginas informaban, por lo que, en la realidad podrían costar menos, y que algunos ya incluían (según las cotizaciones) los impuestos.

Con esto en cuenta el precio total de la máquina resultaría de sumar el precio real estimado con el precio de diseño de la máquina, de la siguiente manera:

$$\text{Precio total estimado} = 52'427.121 + 7'515.200 = 59'942.322$$

Conociendo esto ya se pueden comparar las ventajas y desventajas de este diseño con respecto al precio de las maquinas del mercado, el cuadro comparativo es el siguiente:

Modelo	Tipo	Precio	Alimentación	Capacidad de corte espesor máximo	Otras aplicaciones	Ancho de lámina
Máquina Cizalla	electromecánica	\$ 7,500,000.00	220 V	0.3 mm	Ninguna	1220 mm
Cizalla multiple omera	eléctrica	\$ 9,500,000.00	220 V	8 mm	Corta angulos, barras hasta 28 mm, barra cuadrada hasta 25 mm	No especifica
Cizalla multiple	hidráulica	\$ 7,000,000.00	Aceite	3 mm	Corta angulo, punzona hasta 3/4 de pulgada	No especifica
Cizalla multiple Punzonadora	automatizada	\$ 48,000,000.00	220 V - 440 V	8 mm	Corta varillas, angulo y platinas	300 mm
Cizalla mixta	automatizada	\$ 46,000,000.00	220 V - 440 V	10 mm	Corta varillas, angulo, platinas y punzona	No especifica
Máquina de corte longitudinal	automatizada	\$ 309,842,010.00	380 V, 50 Hz	4 mm	Desenrolla las bobinas y las enrolla recortadas	1250 mm
Máquina diseñada	automatizada	\$ 59,942,322	230 V	0.7 mm	Ninguna	1220 mm

Figura 53. Cuadro comparativo.

Si bien en cuanto al precio la máquina no es la más competitiva, hay que recordar que el precio real de los materiales del diseño sería menor y que allí no se está teniendo en cuenta el 30% de obligaciones tributarias y aranceles (basado de la sugerencia de cálculos NIIF). La

---

primera cizalla de la figura 53 en cuanto a precio es bastante más accesible, tiene la desventaja de no ser automatizada, además de solo tener un total de 5 pares de cuchillas y solamente cortar hojalata lo podemos corroborar en [38] y el espesor máximo apenas alcanza los 0.3 mm. Las siguientes dos cizallas en el cuadro, compiten de forma agresiva en cuanto a precio, sin embargo, al ver las imágenes del apéndice P podemos notar que el espacio de trabajo es pequeño en comparación al del diseño y aunque se pueden cortar mayores grosores y tiene otras aplicaciones, este límite en el espacio de trabajo es una desventaja. La cizalla múltiple punzonadora tiene un caso similar, aunque el precio de esta máquina es más cercano al precio del diseño. La cizalla mixta es la que tendría una competitividad más fuerte el precio es cercano al del diseño, las características son similares, tiene otras aplicaciones, el espacio de trabajo es amplio y cubre mayores espesores; la única desventaja, sería probablemente que tendría que ponerse a trabajar más tiempo debido a que para hacer la cantidad de cortes, tendría que hacerlo uno a uno. La última máquina, en cuanto a precio no es competitiva, pero tiene el valor agregado de operar el producto desde su forma primordial (las bobinas, rollos) desenrollándolos para realizar los cortes y volviéndolos a enrollar cortados, para que así sea más fácil llevarlos a otras etapas.

---

## 5. Conclusiones y Trabajos Futuros

### 5.1. Conclusiones

- Al notar que la máquina en líneas generales comparada con otras es competitiva, llegamos a la conclusión de que la selección del diseño conceptual en la parte inicial del capítulo 4 fue acertada y, por lo tanto, representó un ahorro en costos.
- Observando los elementos seleccionados finalmente para la conformación de la máquina, se concluye que las piezas serán fáciles de encontrar y reemplazar al ser elementos comerciales y con ello el mantenimiento se facilitará debido a la documentación general disponible en la red.
- Comparando los resultados calculados en el diseño, refiriéndose a los diagramas de cortante y momento, con los resultados de la simulación de SolidWorks y viendo que coinciden; se concluye que la máquina cumplirá con el objetivo general de cortar láminas de acero a diferentes longitudes.
- Gracias a la automatización se generó el valor agregado de brindar seguridad al operario a la máquina, esto ayuda a aumentar la competitividad de la máquina.
- Si tenemos en cuenta para la máquina “cizalla mixta” (que es la más competitiva con respecto al diseño) el costo agregado del 30% por obligaciones tributarias y aranceles (basado de la sugerencia de cálculos NIIF) el valor sería aproximadamente igual al del diseño, pero en espacio ocupado y tiempo de trabajo el diseño la supera, por lo tanto, si un comprador necesitara menor espacio de trabajo, el diseño sería el más indicado para el trabajo.

## 5.2. Trabajos futuros

Existen muchas formas de mejorar la máquina, por ejemplo, puede adecuarse la máquina para trabajar con las bobinas, enrollando y desenrollando junto al corte. Puede agregarse una guillotina en la salida la cual junto a una automatización más detallada y una Interfaz Humano Máquina (HMI por sus siglas en inglés *Human Machine Interface*) podría dejar las láminas desde los rollos a las longitudes programadas por el operario. Pueden adecuarse una serie de rodillos y varias bandas transportadoras que redirijan la lámina a otras etapas. Puede adaptarse la máquina para que corte el papel de filtro y con los rodillos redirigirse a una etapa de plegado. Pueden agregarse unos rieles con unas correas milimétricas y un conjunto de sensores para mover las cuchillas automáticamente por programación y así asegurarse de forma más exacta de que los cortes estén a la distancia apropiada. Si se quiere ser más ambicioso se pueden hacer modificaciones a la estructura de modo que puedan cambiarse ambos ejes a modo de cambiar el diámetro de las cuchillas y con sensores de distancia corroborar los traslapes y así tener una mayor gama de grosores para los cortes.

---

### Bibliografía

- [1] M. J. Sánchez, «EL NUEVO DIARIO,» Sociedad Interamericana de Prensa, 10 Octubre 2017. [En línea]. Available: <https://www.elnuevodiario.com.ni/economia/442816-que-se-debe-cambiar-filtro-aceite/>. [Último acceso: Septiembre 2019].
- [2] R. C. Cosar, «NTP 153: Cizalla de guillotina para metal,» Ministerio de trabajo y asuntos sociales España, Barcelona, 1983.
- [3] E. V. I. Carrillo, Diseño y construcción de una máquina rotativa de corte longitudinal de planchas de acero galvanizado de 1 mm de espesor en la empresa carrocerías "IBIMCO S.A.", Ambato, Ecuador: Universidad de Ambato, 2017.
- [4] J. D. Fuentes Rojas, M. A. Méndez Mendieta, J. A. Muñoz Cabrera y F. A. Romero González, Diseño y construcción de un prototipo de máquina tipo cartesiano para corte y grabado láser en papel, Bogotá D.C., Colombia: Universidad de San Buenaventura, 2015.
- [5] «alacero, ¿Qué es el acero?,» Asociación Latinoamericana del Acero, [En línea]. Available: <https://www.alacero.org/es/page/el-acero/que-es-el-acero>. [Último acceso: Septiembre 2019].

- 
- [6] A. Orozco, «ACADEMIA, Clasificación AISI-SAE de los aceros,» [En línea]. Available: [https://www.academia.edu/8537175/CLASIFICACION\\_AISI-SAE\\_DE\\_LOS\\_ACEROS](https://www.academia.edu/8537175/CLASIFICACION_AISI-SAE_DE_LOS_ACEROS). [Último acceso: Septiembre 2019].
- [7] «Coldeaceros S.A., Lámina Cold-Rolled,» Productos, 2017. [En línea]. Available: <https://coldeaceros.com/producto/lamina-cold-rolled/>. [Último acceso: Septiembre 2019].
- [8] P. Terán, «ACADEMIA, Propiedades del acero usado en laminado en frío,» [En línea]. Available: [https://www.academia.edu/7530382/PROPIEDADES\\_DEL\\_ACERO\\_USADO\\_EN\\_LAMINADO\\_EN\\_FRIO](https://www.academia.edu/7530382/PROPIEDADES_DEL_ACERO_USADO_EN_LAMINADO_EN_FRIO). [Último acceso: Septiembre 2019].
- [9] «Coldeaceros S.A., Acero 1020,» Aceros Especiales, 2017. [En línea]. Available: <https://coldeaceros.com/aceros-especiales/#1511886182607-1366218e-bb37>. [Último acceso: Septiembre 2019].
- [10] L. Bohdal and L. Kukielka, "Application of variational and FEM methods to the modelling and numerical analysis of the slitting process for geometrical and physical nonlinearity," *Journal of theoretical and applied mechanics*, no. 53,2, pp. 487-500, 2015.
- [11] Fiuba, «Industrias de procesos de conformación, Conformado de láminas metálicas,» 2013. [En línea]. Available:

[http://materias.fi.uba.ar/7204/teoricas/conformado\\_de\\_laminas\\_metalicas.pdf](http://materias.fi.uba.ar/7204/teoricas/conformado_de_laminas_metalicas.pdf).

[Último acceso: Octubre 2019].

- [12] DeeTee Industries Limited, "Slitting Knife Clearance," *News Views*, 01 Abril 2013.
- [13] T. Mushiri, G. Mashana and C. Mbohwa, "Design of a paper slitting and rewinding machine for a developing country, Zimbabwe," in *Proceedings of the 2016 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, Detroit, Michigan, USA, 2016.
- [14] D. Díaz, Diseño de un sistema de corte longitudinal de láminas metálicas para una empresa fabricante de filtros automotrices, Naguanagua, Venezuela: Universidad de Carabobo, 2010.
- [15] H. V. Escudero, «Aceros para piezas y herramientas de corte,» 2017. [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/doc/245560693/ACEROS-PARA-PIEZAS-Y-HERRAMIENTAS-DE-CORTE-pdf>. [Último acceso: Septiembre 2019].
- [16] B. J. Flores Rodriguez, «Diseño de una herramienta: cuchilla para trabajo en frío,» Universidad Autonoma de Nuevo Leon, San Nicolas de los Garza, México, 1999.
- [17] «Coldeaceros S.A., Acero 8620,» 2017. [En línea]. Available: <https://coldeaceros.com/aceros-especiales/#1511970662669-b57b1ce4-71e7>. [Último acceso: Octubre 2019].

- 
- [18] S. P. Arango, «Diseño de cizalla por corte circular para obtener rollos de 10 mm de ancho a partir de rollos de 150 mm,» Universidad EAFIT, Medellín, Colombia, 2008.
- [19] «Ayuda de SOLIDWORKS, Piezas Soldadas,» 3Dassault Systemes, 2018. [En línea]. Available: [http://help.solidworks.com/2018/spanish/SolidWorks/sldworks/c\\_Weldments\\_Overview.htm](http://help.solidworks.com/2018/spanish/SolidWorks/sldworks/c_Weldments_Overview.htm). [Último acceso: Noviembre 2019].
- [20] «Ayuda de SOLIDWORKS, Simulation, Mallado,» 3Dassault Systemes, 2018. [En línea]. Available: [http://help.solidworks.com/2018/spanish/SolidWorks/cworks/c\\_Background\\_on\\_Meshing.htm?id=cb2ab735798e499dab33f07958491e75#Pg0](http://help.solidworks.com/2018/spanish/SolidWorks/cworks/c_Background_on_Meshing.htm?id=cb2ab735798e499dab33f07958491e75#Pg0). [Último acceso: Noviembre 2019].
- [21] «Ayuda de SOLIDWORKS, Simulation, Comprobación de Factor de seguridad,» 3Dassault Systemes, 2018. [En línea]. Available: [http://help.solidworks.com/2018/spanish/SolidWorks/cworks/c\\_Factor\\_of\\_Safety\\_Check.htm?id=9db96772e0b749ba8b92bafd077a44f1#Pg0](http://help.solidworks.com/2018/spanish/SolidWorks/cworks/c_Factor_of_Safety_Check.htm?id=9db96772e0b749ba8b92bafd077a44f1#Pg0). [Último acceso: Noviembre 2019].
- [22] «¿Qué es un PLC?,» ingeniería mecafenix, [En línea]. Available: <https://www.ingmecafenix.com/automatizacion/que-es-un-plc/>. [Último acceso: 18 Noviembre 2019].

- 
- [23] «¿Qué es un variador de frecuencia?,» ABB, [En línea]. Available: <https://new.abb.com/drives/es/que-es-un-variador>. [Último acceso: 18 Noviembre 2019].
- [24] «Fundamentos del sensor, ¿Qué es un sensor de proximidad inductivo?,» Keyence, [En línea]. Available: <https://www.keyence.com.mx/ss/products/sensor/sensorbasics/proximity/info/index.jsp>. [Último acceso: 18 Noviembre 2019].
- [25] E. V. Cortázar, «curso de GRAFCET y GEMMA,» 2006.
- [26] «Diccionario Español de Ingeniería,» Real Academia de Ingeniería, [En línea]. Available: <http://diccionario.raing.es/es>. [Último acceso: Octubre 2019].
- [27] International Electrotechnical Commission, «IEC 1131-3, Estandarización en la programación del control industrial,» [En línea]. Available: [http://isa.uniovi.es/~felipe/files/infindII/documentos/iec1131-3%20espa%F1o1%20\(1\).pdf](http://isa.uniovi.es/~felipe/files/infindII/documentos/iec1131-3%20espa%F1o1%20(1).pdf). [Último acceso: Noviembre 2019].
- [28] A. Serrano Huertas y O. A. López Madrid, «Diseño de una cizalla industrial para el corte de láminas de acero al silicio utilizadas en transformadores secos de energía eléctrica,» Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia, 2015.
- [29] «Productos, Motorreductores de sinfín,» NORD drive systems, 2015. [En línea]. Available: [https://www.nord.com/cms/es/hp\\_home\\_co.jsp](https://www.nord.com/cms/es/hp_home_co.jsp). [Último acceso: Octubre 2019].

- 
- [30] R. Mott, Diseño de elementos de máquinas, México: Pearson Educación, 2006.
- [31] D. F. Betancourt, «Cómo hacer una matriz de priorización,» Ingenio Empresa, 24 Noviembre 2018. [En línea]. Available: <https://ingenioempresa.com/matriz-de-priorizacion/>. [Último acceso: 16 Noviembre 2019].
- [32] J. Wilcox, "Minimizing knife deflections in coil slitting," the fabricator, 30 Mayo 2001. [Online]. Available: <https://www.thefabricator.com/thefabricator/article/stamping/minimizing-knife-deflections-in-coil-slitting>. [Accessed Noviembre 2019].
- [33] «Tipos de elemento,» 3Dassault Systemmes, [En línea]. Available: [http://help.solidworks.com/2011/spanish/SolidWorks/cworks/LegacyHelp/Simulation/Design\\_Studies/Mesh\\_Types.htm](http://help.solidworks.com/2011/spanish/SolidWorks/cworks/LegacyHelp/Simulation/Design_Studies/Mesh_Types.htm). [Último acceso: 5 diciembre 2019].
- [34] «Opciones de mallado,» 3Dassault Systemmes, [En línea]. Available: [http://help.solidworks.com/2016/spanish/SolidWorks/cworks/c\\_Meshing\\_Options.htm#rio1450460201051](http://help.solidworks.com/2016/spanish/SolidWorks/cworks/c_Meshing_Options.htm#rio1450460201051). [Último acceso: 5 diciembre 2019].
- [35] «Transmisión de potencia,» martin, [En línea]. Available: <http://es.martinsprocket.com/?full=true?lang=es>. [Último acceso: Octubre 2019].
- [36] «ANSI Roller Chains, RS50,» Tsubaki, 2019. [En línea]. Available: <https://chains.ustsubaki.com/item/rs25-through-rs240-chains/rs50-roller-chains/rs50>. [Último acceso: Octubre 2019].

- 
- [37] «Productos,» SKF, [En línea]. Available: <https://www.skf.com/co/products/index.html>. [Último acceso: Octubre 2019].
- [38] «Maquinaria Cizalla,» Mercado libre Colombia, [En línea]. Available: [https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-503408072-maquinaria-cizalla-\\_JM#position=19&type=item&tracking\\_id=6518afbe-ca5d-492c-bf63-8170cfb9827a](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-503408072-maquinaria-cizalla-_JM#position=19&type=item&tracking_id=6518afbe-ca5d-492c-bf63-8170cfb9827a). [Último acceso: 19 Noviembre 2019].
- [39] P. Wood, «Optimizing the shear slitting process,» de *Polymers-Laminations-Adhesives-Coatings-Extrusions Conference*, Saint Louis, Misuri, 2007.
- [40] «Motorreductores NORD SK 1si 63-iec 90s/4,» Mercado libre Colombia, [En línea]. Available: [https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-468497983-motorreductores-nord-sk-1si-63-iec-90s4-hp15sk-rel3000-\\_JM#position=1&type=item&tracking\\_id=19169558-e23e-44e4-bd7c-7c31af13154c](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-468497983-motorreductores-nord-sk-1si-63-iec-90s4-hp15sk-rel3000-_JM#position=1&type=item&tracking_id=19169558-e23e-44e4-bd7c-7c31af13154c). [Último acceso: 18 Noviembre 2019].
- [41] «Cadena de rodillos, Tamaño de cadena ANSI 50, Paso 5/8", Material acero al carbono, Tipo de cadena estándar, Remachada,» Grainger México, [En línea]. Available: <https://www.grainger.com.mx/producto/TSUBAKI-Cadena-de-Rodillos%2C-Tama%C3%B1o-de-la-Cadena-ANSI-50%2C-Paso-5-8%22%2C-Material-Acero-al-Carbono%2C-Tipo-de-Cadena-Est%C3%A1ndar%2C-Remachada/p/2W095?analytics=searchResults>. [Último acceso: 18 Noviembre 2019].

- 
- [42] «Velocidad ajustable mini portatil de la industria alimentaria de la cinta transportadora,» Alibaba, [En línea]. Available: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/Adjustable-Speed-Mini-Portable-Food-Industry-62196312046.html?spm=a2700.galleryofferlist.normalList.58.36ed56d3DrcQtS>. [Último acceso: 18 Noviembre 2019].
- [43] «Variador de frecuencia Siemens Sinamics V20,» Mercado libre Colombia, [En línea]. Available: [https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-455218726-variador-de-frecuencia-siemens-sinamics-v20-1hp-220v-escalar-\\_JM?matt\\_tool=84514196&matt\\_word&gclid=Cj0KCQiAn8nuBRCzARIsAJcdIfOvfTsg3rI\\_-wVTakNELNhhkP6cU0xw4WATCPtSQyfcFQyPnyvIDW50aAuGgEALw\\_wcB&quantity=1](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-455218726-variador-de-frecuencia-siemens-sinamics-v20-1hp-220v-escalar-_JM?matt_tool=84514196&matt_word&gclid=Cj0KCQiAn8nuBRCzARIsAJcdIfOvfTsg3rI_-wVTakNELNhhkP6cU0xw4WATCPtSQyfcFQyPnyvIDW50aAuGgEALw_wcB&quantity=1). [Último acceso: 18 Noviembre 2019].
- [44] «PLC Siemens S7-1200,» Mercado libre Colombia, [En línea]. Available: [https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-451865237-plc-siemens-s7-1200-iva-incluido-\\_JM#position=1&type=item&tracking\\_id=be7c9ae2-e4e7-47a5-9d91-302b788f7e4e](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-451865237-plc-siemens-s7-1200-iva-incluido-_JM#position=1&type=item&tracking_id=be7c9ae2-e4e7-47a5-9d91-302b788f7e4e). [Último acceso: 18 Noviembre 2019].
- [45] «Sensor Inductivo de Proximidad,» Mercado libre Colombia, [En línea]. Available: <https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-464854524-sensor-inductivo-de-proximidad-lj12a3-4-zbx-npn->

- 
- \_JM?quantity=1#position=4&type=item&tracking\_id=19c73ba9-cba3-4da9-ad62-d1126949396e. [Último acceso: 18 Noviembre 2019].
- [46] «Pulsador final de carrera,» Mercado libre Colombia, [En línea]. Available: [https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-528898685-pulsador-final-de-carrera-5a-250v-ac-interruptor-de-limite-\\_JM?quantity=1#position=1&type=item&tracking\\_id=939c770d-285e-4318-b847-8362876bc402](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-528898685-pulsador-final-de-carrera-5a-250v-ac-interruptor-de-limite-_JM?quantity=1#position=1&type=item&tracking_id=939c770d-285e-4318-b847-8362876bc402). [Último acceso: 18 Noviembre 2019].
- [47] «AHC - Acero Inoxidable perno A2 10 mm x 60 mm,» amazon España, [En línea]. Available: [https://www.amazon.es/AHC-inoxidable-totalmente-hexagonal-tornillo/dp/B00DY2D6HU/ref=sr\\_1\\_6?keywords=tornillo+10mm&qid=1574107505&sr=8-6](https://www.amazon.es/AHC-inoxidable-totalmente-hexagonal-tornillo/dp/B00DY2D6HU/ref=sr_1_6?keywords=tornillo+10mm&qid=1574107505&sr=8-6). [Último acceso: 18 Noviembre 2019].
- [48] «20 x 20 x 2 hasta 1000 mm Tubo cuadrado Acero Tubo perfil Pipa de acero,» Schmiedekult.de, [En línea]. Available: <https://www.schmiedekult.de/20-x-20-x-2-hasta-1000-mm-Tubo-cuadrado-Acero-Tubo-perfil-Pipa-de-acero>. [Último acceso: 19 Noviembre 2019].
- [49] «Top slitter blades & circular dished knives,» Alibaba, [En línea]. Available: [https://www.alibaba.com/product-detail/Top-slitter-blades-circular-dished-knives\\_60785240949.html?spm=a2700.galleryofferlist.0.0.5ef72eeeh51MkM&s=p](https://www.alibaba.com/product-detail/Top-slitter-blades-circular-dished-knives_60785240949.html?spm=a2700.galleryofferlist.0.0.5ef72eeeh51MkM&s=p). [Último acceso: 19 Noviembre 2019].

- 
- [50] «AISI 8620 barra redonda del surtidor, exportador,» Consultacton Inc, [En línea]. Available: <http://www.aadinathmetal.com/aisi-8620-alloy-steel-round-bar-supplier-exporter.html>. [Último acceso: 19 Noviembre 2019].
- [51] «Cizalla multiple Omera,» Mercado libre Colombia, [En línea]. Available: [https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-490626662-cizalla-multiple-omera-italiana-00198-\\_JM#position=21&type=item&tracking\\_id=61ec0c3b-dbe5-45c2-944c-351588bc88dc](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-490626662-cizalla-multiple-omera-italiana-00198-_JM#position=21&type=item&tracking_id=61ec0c3b-dbe5-45c2-944c-351588bc88dc). [Último acceso: 19 Noviembre 2019].
- [52] «Cizalla multiple hidraulica,» Mercado libre Colombia, [En línea]. Available: [https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-532469649-cizalla-multiple-hidraulica-\\_JM#position=24&type=item&tracking\\_id=61ec0c3b-dbe5-45c2-944c-351588bc88dc](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-532469649-cizalla-multiple-hidraulica-_JM#position=24&type=item&tracking_id=61ec0c3b-dbe5-45c2-944c-351588bc88dc). [Último acceso: 19 Noviembre 2019].
- [53] «Cizalla multiple punzonadora,» Mercado libre Colombia, [En línea]. Available: [https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-520816541-cizalla-multiple-punzonadora-\\_JM#position=25&type=item&tracking\\_id=61ec0c3b-dbe5-45c2-944c-351588bc88dc](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-520816541-cizalla-multiple-punzonadora-_JM#position=25&type=item&tracking_id=61ec0c3b-dbe5-45c2-944c-351588bc88dc). [Último acceso: 19 Noviembre 2019].
- [54] «Cizalla mixta punzonadora, iron worker,» Mercado libre, [En línea]. Available: [https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-506519038-cizalla-mixta-punzonadora-iron-worker-cizalla-multiple-\\_JM?quantity=1#position=29&type=item&tracking\\_id=61ec0c3b-dbe5-45c2-944c-351588bc88dc](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-506519038-cizalla-mixta-punzonadora-iron-worker-cizalla-multiple-_JM?quantity=1#position=29&type=item&tracking_id=61ec0c3b-dbe5-45c2-944c-351588bc88dc). [Último acceso: 19 Noviembre 2019].

- [55] «Hidraulica maquina de corte longitudinal,» Alibaba, [En línea]. Available:  
<https://spanish.alibaba.com/product-detail/-1-4-x1250-hydraulic-slitting-758904303.html?spm=a2700.8699010.normalList.4.b95e18c0IRvI2H&s=p>.  
[Último acceso: 19 Noviembre 2019].