



**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL  
ECUADOR**

**FACULTAD DE CIENCIAS TÉCNICAS**

**ESCUELA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**AUTOMATIZACIÓN DE SIERRA DE CINTA SHA-G5018WA PARA  
CORTE DE TUBOS DE ACERO ASTM A500**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA EN  
MECATRÓNICA**

**CABRERA ÁLVAREZ ZÁBATTA SAMANTHA**

**DIRECTOR: ING. JONATHAN FERNANDO CASTRO REVELO, M.Sc.**

**D. M. Quito,**

**2020**

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo Zábatta Samantha Cabrera Álvarez declaro ser autor del presente trabajo de titulación de la carrera de Ingeniería Mecatrónica y eximo expresamente a la Universidad Internacional del Ecuador y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

“La responsabilidad del contenido de esta tesis de grado, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR”

f. ....

Zábatta Samantha Cabrera Álvarez

C. I.: 1722124029

## CERTIFICACIÓN

El docente de la Escuela de Ciencias Técnicas Ingeniero Jonathan Fernando Castro Revelo

CERTIFICA QUE:

El proyecto de investigación “AUTOMATIZACIÓN DE UNA SIERRA DE CINTA SHA-G5018WA PARA CORTE DE TUBOS DE ACERO ASTM A500”, fue desarrollado por: Zábatta Samantha Cabrera Álvarez y ha sido debidamente revisado y está en condiciones de ser entregado para que siga lo dispuesto por la Escuela de Ciencias Técnicas, correspondiente a la sustentación y defensa del mismo.

---

Ing. Jonathan Fernando Castro Revelo

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>1. TEMA.....</b>	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>1</b>
<b>2.1. General .....</b>	<b>1</b>
<b>2.2. Específicos.....</b>	<b>1</b>
<b>3. PLANTAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>1</b>
<b>4. HIPÓTESIS.....</b>	<b>2</b>
<b>5. ESTADO DEL ARTE .....</b>	<b>2</b>
<b>5.1. Sierra de cinta.....</b>	<b>2</b>
<b>5.1.1. Tipos.....</b>	<b>2</b>
<b>5.1.2. Partes .....</b>	<b>3</b>
<b>5.2. Procesos industriales para corte de tubos .....</b>	<b>5</b>
<b>5.3. Sierras de cinta comerciales .....</b>	<b>6</b>
<b>5.4. Sistemas de transporte de material .....</b>	<b>6</b>
<b>5.5. Materiales utilizados en carpintería metálica.....</b>	<b>8</b>
<b>5.6. Acero ASTM A500.....</b>	<b>8</b>
<b>6. Sistema de corte de la empresa .....</b>	<b>8</b>
<b>6.1. Etapas del sistema de corte .....</b>	<b>9</b>
<b>6.1.1. Ubicación del material .....</b>	<b>10</b>
<b>6.1.2. Sujeción del material .....</b>	<b>11</b>
<b>6.1.3. Transporte del material al área de corte .....</b>	<b>11</b>
<b>6.1.4. Medición de longitud de corte.....</b>	<b>12</b>
<b>6.1.5. Sujeción lateral del material.....</b>	<b>12</b>
<b>6.1.6. Corte.....</b>	<b>13</b>
<b>6.2. Normativa para seguridad de levantamiento de cargas .....</b>	<b>13</b>

<b>6.3. Normas para estructuras metálicas</b> .....	14
<b>6.4. Normativa para tableros eléctricos</b> .....	14
<b>6.5. Datos del proceso de corte en la empresa</b> .....	15
<b>7. DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO</b> .....	18
<b>7.1. DIMENSIONAMIENTO MECÁNICO</b> .....	18
<b>7.1.1. Diseño del chasis</b> .....	18
<b>7.1.1.1. Diseño de las juntas</b> .....	23
<b>7.1.2. Diseño del sistema de transporte</b> .....	25
<b>7.1.2.1. Selección de cadena</b> .....	26
<b>7.1.2.2. Selección de piñón</b> .....	31
<b>7.1.2.3. Eje del sistema transportador</b> .....	33
<b>7.1.2.4. Selección de rodamientos</b> .....	41
<b>7.1.2.5. Dimensionamiento del motor para el sistema de transporte</b> .....	43
<b>7.1.3. Selección del tornillo de potencia</b> .....	44
<b>7.1.3.1. Dimensionamiento del motor para el tornillo de potencia</b> .....	45
<b>7.1.4. Simulación del diseño mecánico</b> .....	46
<b>7.2. DIMENSIONAMIENTO ELÉCTRICO</b> .....	47
<b>7.2.1. Control central PLC</b> .....	48
<b>7.2.2. Entradas</b> .....	49
<b>7.2.3. Salidas</b> .....	52
<b>7.2.4. Fuente de alimentación</b> .....	53
<b>7.2.5. Conectores</b> .....	57
<b>7.2.6. Tablero Eléctrico</b> .....	58
<b>7.3. ALGORITMO DE PROGRAMACIÓN</b> .....	58
<b>7.4. DISEÑO DE INTERFAZ</b> .....	60

## 8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ..... 63

### REFERENCIAS

### ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Componentes principales de sierra de cinta a) manual b) semiautomática c) automática [2].....	4
<b>Figura 2.</b> Perfiles utilizados en carpintería metálica [6].....	8
<b>Figura 3.</b> Implantación de la máquina de corte en la empresa. ....	9
<b>Figura 4.</b> Diagrama de flujo del proceso de corte en la empresa. ....	10
<b>Figura 5.</b> Ubicación del material para corte. ....	10
<b>Figura 6.</b> a) Prensa para sujeción de material b) Sujeción del material para su traslado.....	11
<b>Figura 7.</b> Transporte del material al área de corte.....	11
<b>Figura 8.</b> Medición de longitud de corte requerido.....	12
<b>Figura 9.</b> Sujeción lateral del material para corte. ....	13
<b>Figura 10.</b> Corte del material. ....	13
<b>Figura 11.</b> Tiempos de corte iniciales de la empresa. ....	17
<b>Figura 12.</b> Esquema de chasis. ....	18
<b>Figura 13.</b> Viga empotrada en sus extremos con carga distribuida constante.....	20
<b>Figura 14.</b> Selección de tubo estructural a) Cuadrado b) Rectangular. [17].....	22
<b>Figura 15.</b> Análisis de deformación de viga de chasis.....	23
<b>Figura 16.</b> Análisis de deformación del chasis.....	23
<b>Figura 17.</b> Modelo para soldadura,.....	25
<b>Figura 18.</b> Esquema de sistema transportador de cadena .....	26
<b>Figura 19.</b> Modelo para la tensión de la cadena [23].....	29
<b>Figura 20.</b> Esquema del eje del sistema transportador.....	33
<b>Figura 21.</b> Diagrama de cuerpo libre del eje, plano XZ.....	34
<b>Figura 22.</b> Diagrama de cortantes, plano XZ.....	35
<b>Figura 23.</b> Diagrama de momentos, plano XZ.....	36
<b>Figura 24.</b> Diagrama de cuerpo libre del eje, plano XY .....	36
<b>Figura 25.</b> Diagrama de cortantes, plano XY.....	37

<b>Figura 26.</b> Diagrama de momentos, plano XY .....	38
<b>Figura 27.</b> Selección de material para eje del sistema transportador [18]. .....	40
<b>Figura 28.</b> Motor para el sistema de transporte [28]. .....	44
<b>Figura 29.</b> Características del tornillo de potencia [30].....	45
<b>Figura 30.</b> Motor para el tornillo de potencia [28]. .....	46
<b>Figura 31.</b> Diseño 3D.....	47
<b>Figura 32.</b> Diagrama de bloques de la máquina. ....	47
<b>Figura 33.</b> PLC SPARTAN [31].....	48
<b>Figura 34.</b> Sensor Capacitivo CBN5-F46-E2 [32] .....	49
<b>Figura 35.</b> Final de carrera Z-15GQ55-B [33] .....	50
<b>Figura 36.</b> Celda de carga TEM01052B [34] .....	50
<b>Figura 37.</b> HMI TouchBerry 7" [31] .....	51
<b>Figura 38.</b> Variador de frecuencia LSIS H100 [35] .....	52
<b>Figura 39.</b> Variador de frecuencia ESV152N02YXB [35].....	53
<b>Figura 40.</b> Fuente de alimentación 12V. [33].....	55
<b>Figura 41.</b> Fusible y portafusibles para riel DIN [36].....	56
<b>Figura 42.</b> Fuente de alimentación 5V [36].....	56
<b>Figura 43.</b> Calibre normalizado para conectores. [15] .....	57
<b>Figura 44.</b> Esquema de tablero eléctrico. ....	58
<b>Figura 45.</b> Algoritmo general de programación.....	59
<b>Figura 46.</b> Pantalla principal .....	60
<b>Figura 47.</b> Ingreso de nuevo valor .....	61
<b>Figura 48.</b> Selección de valores almacenados .....	61
<b>Figura 49.</b> Control del proceso .....	62

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Componentes principales de una sierra de cinta [1] [2]. .....	4
<b>Tabla 2.</b> Procesos industriales para corte de metal [3]. .....	5
<b>Tabla 3.</b> Características de sierras de cinta comerciales [4]. .....	6
<b>Tabla 4.</b> Sistemas Transportadores de materiales [5]. .....	7
<b>Tabla 5.</b> Aceros estructurales [10] [11]. .....	14
<b>Tabla 6.</b> Datos de tiempos de corte. ....	16
<b>Tabla 7.</b> Límites de deflexión sugeridos [16]. .....	19
<b>Tabla 8.</b> Valores de masa en caso crítico .....	20
<b>Tabla 9.</b> Tipos de cadena [19]. .....	27
<b>Tabla 10.</b> Características de cadena seleccionada [22]. .....	28
<b>Tabla 11.</b> Características del piñón seleccionado .....	32
<b>Tabla 12.</b> Características del PLC [31]. .....	48
<b>Tabla 13.</b> Características del sensor CBN5-F46-E2 [32] .....	49
<b>Tabla 14.</b> Características de final de carrera Z-15GQ55-B [33]. .....	50
<b>Tabla 15.</b> Características de celda de carga TEM01052B [34]. .....	51
<b>Tabla 16.</b> Características de HMI TouchBerry 7" .....	51
<b>Tabla 17.</b> Consumo eléctrico de componentes .....	54
<b>Tabla 18.</b> Requisitos de fuentes de alimentación DC .....	54

## **1. TEMA**

Automatización de una sierra de cinta SHA-G5018WA para corte de tubos de acero ASTM A500

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. General**

- Diseñar un sistema de automatización para una sierra de cinta SHA-G5018WA para corte de tubos de acero ASTM A500 en la empresa PRODUVARI.

### **2.2. Específicos**

- Investigar y documentar los distintos procesos de corte para tubos de carpintería metálica.
- Definir las etapas involucradas en el sistema de corte.
- Diseñar y dimensionar los mecanismos que intervienen en la automatización de la sierra.
- Diseñar un control automático del proceso de corte tomando en cuenta la seguridad del operario.
- Tabular los datos reales de la empresa en cuanto al proceso de corte de tubos
- Diseñar una HMI con una base de datos para la selección de los diferentes parámetros requeridos para el funcionamiento de la máquina (material, velocidad, longitud de corte).

## **3. PLANTAMIENTO DEL PROBLEMA**

La empresa PRODUVARI INDUSTRIAL es una microempresa ecuatoriana dedicada a la producción y venta de instrumentos y accesorios musicales tales como ganchos, soportes para sintetizadores, consolas, parlantes, baterías, entre otros. Sin embargo, la producción actual de la misma no es suficiente para satisfacer la demanda de sus consumidores.

La mayor parte de la fabricación de los productos de la empresa inician su proceso de manufactura en una etapa de corte de tubos de acero, por ello el automatizar el proceso de corte no sólo reducirá tiempos de producción y errores de longitud, sino que, liberará a un trabajador. De esta manera, dicho trabajador será capaz de realizar otros procesos que agilicen la fabricación y entrega de los productos a los consumidores.

#### **4. HIPÓTESIS**

La automatización de la sierra de cinta en la empresa PRODUVARI reducirá los tiempos de corte de tubos de acero a 90 segundos en un área de trabajo de 288x170mm.

#### **5. ESTADO DEL ARTE**

De acuerdo a la bibliografía encontrada, en esta sección se realiza una descripción de la sierra de cinta, sus partes principales y los diferentes tipos utilizados en la industria. Además, se indican los tipos de corte y sistemas de transporte más convencionales.

##### **5.1. Sierra de cinta**

La sierra de cinta (también conocida como sierra sinfín) es una herramienta eléctrica que posee una banda metálica dentada, flexible y larga que se desplaza sobre dos ruedas que se encuentran en el mismo plano vertical con cierto espacio entre ellas. Se utiliza para realizar cortes en diversos materiales ocupados en trabajos de carpintería y carpintería metálica [1]. Con la sierra de cinta se pueden realizar cortes horizontales, verticales y angulares.

##### **5.1.1. Tipos**

En el mercado se ofrecen 3 tipos de sierra de cinta: manual, semiautomática y automática. Cada equipo tiene sus funciones y cuidados específicos de acuerdo al tipo de trabajo que se pretenda realizar.

Una sierra de cinta manual necesita de un operador que accione la máquina y maneje de manera cuidadosa el movimiento lateral de la cinta para realizar el corte.

De la misma manera, la alimentación del material se hace de manera manual considerando las recomendaciones de seguridad industrial para cada aplicación.

Para una sierra de cinta semiautomática generalmente la alimentación del material se ejecuta de forma manual por un operario, mientras que la sujeción y el corte son realizadas de forma automática por el sistema. De esta manera se minimiza el riesgo de accidentes que pueda sufrir el operador durante el corte del material y se obtiene una mejor precisión final.

Una sierra de cinta automática maneja velocidades preestablecidas de alimentación, reversa, sujeción y corte, por lo tanto, no requiere la presencia de un operador para su funcionamiento. Funcionan mediante control numérico por computadora y permiten realizar cortes más precisos reduciendo tiempos de producción y riesgos para el operador [1].

Cada tipo de sierra puede ser aplicado para corte de metal o de madera según sea necesario, tomando en cuenta ciertas consideraciones. La sierra de cinta para corte de metal requiere un refrigerante que se suministre constantemente sobre la hoja de sierra. Esto con el fin de evitar un sobrecalentamiento que puede causar defectos de corte y/o reducción en el tiempo de vida útil de la sierra. La sierra de cinta para corte de madera requiere una hoja de metal dentada altamente flexible de acuerdo al diámetro de volantes de la máquina.

### **5.1.2. Partes**

Las sierras de cinta constan de algunas partes fundamentales que permiten su funcionamiento. En la Tabla 1 se mencionan las partes y las funciones que cumplen cada una. En la Figura 1 se pueden observar los 3 tipos de sierra de cinta con la numeración de las diferentes partes a las cuales se hace referencia en la Tabla 1.



**Figura 1.** Componentes principales de sierra de cinta a) manual b) semiautomática c) automática [2]

**Tabla 1.** Componentes principales de una sierra de cinta [1] [2].

Parte	Nº	Función
Cinta	5	Realizar el corte. La longitud de la cinta es específica y depende de la función, configuración y tipo de cada máquina.
Motor	6	Acciona el movimiento de la cinta. En sierras automáticas y semiautomáticas se usan también para mover los volantes de la máquina.
Volantes	2	Mantener la tensión de la cinta. Se encuentran ubicados y equilibrados en un mismo plano y sobre ellos se coloca la hoja de sierra sinfín.
Guías	3	Guiar y alinear la cinta cuando se encuentra en funcionamiento con el objetivo de que esta no se tuerza o sufra algún daño que pueda provocar su fractura.
Bomba de refrigeración	1	Bombear un líquido refrigerante para que este lubrique y enfríe la cinta durante el corte.
Prensas	4	Ejercer presión en el material que se desea cortar para que los cortes sean precisos.
Bombas hidráulicas	N/A	Suministrar fuerza a las prensas y cabezas de corte. Estas son empleadas generalmente en máquinas semiautomáticas y automáticas.

## 5.2. Procesos industriales para corte de tubos

En la industria se utilizan diferentes procesos para el mecanizado de metales. Para el corte, estos dependen del acabado y precisión que se requiera en el producto final, teniendo cada uno sus ventajas y desventajas. En la Tabla 2 se muestran algunos métodos de corte de tubos comúnmente utilizados en la industria con sus respectivas ventajas y desventajas.

**Tabla 2.** Procesos industriales para corte de metal [3].

<b>Corte</b>	<b>Descripción</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Abrasivo	Realizado generalmente con discos de lija, es ideal para tubos de poco diámetro (menores a 4,5cm) y espesor. Requiere lubricante	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Económico</li> <li>• Versátil</li> <li>• Alta producción</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta producción de viruta</li> <li>• Baja precisión en el corte</li> <li>• Mantenimiento frecuente</li> </ul>
Por sierra de cinta	Realizado con bandas dentadas continuas que gira sobre dos ruedas, es ideal para tubos de gran tamaño y espesor (diámetros mayores a 12cm). Presenta tendencia de desplazamiento del material durante el corte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Económico</li> <li>• Versátil</li> <li>• Producción en masa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Producción de viruta</li> <li>• Baja precisión en el corte</li> </ul>
Láser	Realizado con láser de alta potencia de forma continua controlado por un computador. Es ideal para corte de materiales de alta dureza	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Máxima precisión</li> <li>• Sin producción de viruta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costoso</li> <li>• Limitaciones en materiales para corte</li> </ul>
Torno de corte	Realizado con herramientas montadas en los carros transversales del torno. Es ideal para tubos de varios diámetros (1 a 20cm) y bajo espesor (0,05 a 1,2cm)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Corte de todo tipo de materiales</li> <li>• Alta precisión</li> <li>• Puede operar por computador</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costoso</li> <li>• Alta producción de viruta</li> </ul>

### 5.3. Sierras de cinta comerciales

En el mercado se encuentran disponibles varios modelos de sierras de cintas de diferentes tipos, en la Tabla 3 se presentan las características de algunas de ellas. En el anexo A se muestran los manuales técnicos de las sierras comerciales analizadas.

**Tabla 3.** Características de sierras de cinta comerciales [4]

<b>Maca y modelo de sierra</b>	<b>Tipo</b>	<b>Capacidad de corte en cuadrado [mm]</b>	<b>Velocidad de corte [m/min]</b>	<b>Dimensiones [mm]</b>
UNIZ 24"	Semiautomática	400x380	De 55 hasta 75	2210x950x1350
UNIZ 18"	Semiautomática	225x225	De 70 hasta 95	1550x750x1150
SABI PB500A	Automática	600x475	De 15 hasta 100	5800x745x6400
SABI 14"	Semiautomática	140x140	De 75 hasta 105	1250x660x1025
UNIZ NC350A	Automática	350x350	De 60 hasta 1205	3000x2400x1800

Para las sierras automáticas y semiautomáticas las velocidades de alimentación de material varían entre 9 y 18rpm.

### 5.4. Sistemas de transporte de material

Industrialmente los sistemas de transporte permiten el movimiento automatizado de materiales o productos reduciendo el riesgo de los trabajadores a sufrir daños a su salud por la traslación de cargas pesadas de manera repetitiva y aumentar la productividad de la empresa. En la Tabla 4 detalla diferentes sistemas de transporte que son comúnmente utilizados en ambientes industriales.

**Tabla 4.** Sistemas Transportadores de materiales [5]

Sistema	Descripción	Ventajas	Imagen
De cinta	<p>Conformado por una estructura metálica y una cinta continua que se desplaza sobre rodillos.</p> <p>Permite operaciones intermitentes con movimientos constantes tanto para avanzar como para retroceder</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bajo costo</li> <li>• Versatilidad</li> </ul>	
De cadena	<p>Conformado por una estructura metálica y cadenas continuas ancladas a piñones. Se utiliza para desplazar elementos que comúnmente están situados en contenedores industriales</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta resistencia al peso del material transportado</li> <li>• Mantenimiento mínimo</li> </ul>	
De rodillos	<p>Conformado por un marco de acero en el cual se ubican varios rodillos del mismo material que varían su diámetro entre 0,3 y 0,6 metros, movilizados por rodamientos, moto-reductores y correas</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Soporta cargas de gran peso (1360,77kg)</li> </ul>	
De carretilla	<p>Conformado por un marco que permite el deslizamiento de la carretilla mediante rodamientos y un sistema de motor y correa.</p> <p>Permite el acondicionamiento de la carretilla según la necesidad</p>	<p>Versatilidad</p> <p>Manejo de cargas de gran peso (1814,37kg)</p>	

## 5.5. Materiales utilizados en carpintería metálica

El término carpintería metálica es considerado un término bastante reciente en la industria y se refiere a aquellas empresas dedicadas a trabajos en acero y aluminio, principalmente de construcción de estructuras metálicas y elementos de acondicionamiento para oficinas y hogares.

Los materiales más comunes utilizados en carpintería son los aceros al carbono, aleados e inoxidables, siendo los materiales con especificación A36, A992, A572, A588 y A500 los principales para estructuras, así mismo la carpintería metálica ocupa mayormente tubos cuadrados, tubos redondos y perfiles en L, U, H y T [6] como se muestra en la Figura 2.



**Figura 2.** Perfiles utilizados en carpintería metálica [6]

En el caso de la empresa PRODUVARI INDUSTRIAL su mayor producción se realiza con tubos cuadrados de acero ASTM A500 grado C.

## 5.6. Acero ASTM A500

En el mercado el acero ASTM A500 se puede encontrar en perfiles redondos, cuadrados y rectangulares, sin embargo, sus propiedades difieren entre ellos. La empresa PRODUVARI centra su producción principalmente en perfiles cuadrados y rectangulares cuyas aplicaciones principales son como tubos estructurales, columnas de secciones huecas para bases y bastidores, implementos agrícolas y ornamentales, entre otros. Su esfuerzo de fluencia y resistencia a la tracción son de 345 y 425MPa respectivamente, su densidad es de 7,9g/cm<sup>3</sup> y su elasticidad 200GPa [7]

## 6. Sistema de corte de la empresa

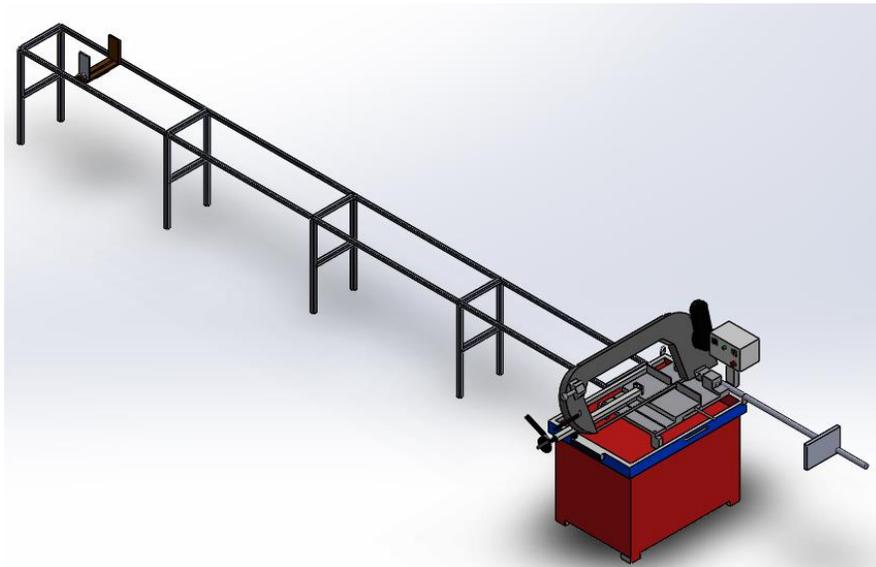
En la presente sección se analiza cada una de las etapas que se realizan en la empresa para completar el proceso de corte de tubos con el fin de determinar cuáles

influyen directamente en la automatización. En cada caso se mencionan los posibles riesgos a los que los trabajadores se ven expuestos.

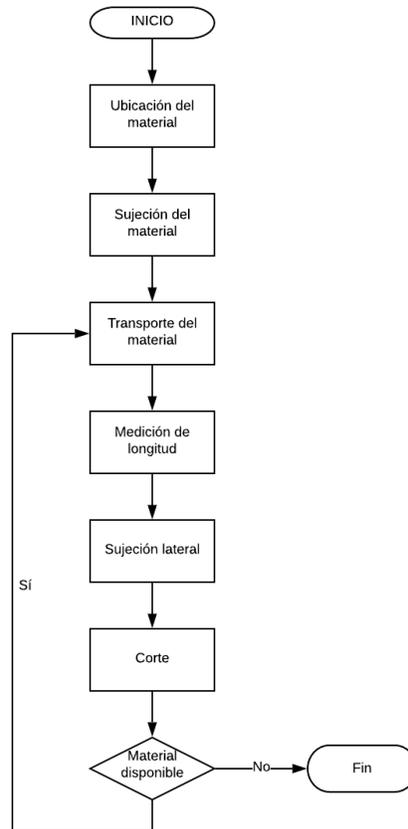
### 6.1. Etapas del sistema de corte

Actualmente en la empresa el proceso de corte es realizado manualmente por uno o dos operadores dependiendo la etapa del mismo y en cada una de estas etapas se realizan actividades que ponen en riesgo la integridad del operador por diferentes factores.

En la Figura 3 se muestra un esquema de instalación de la máquina actual de la empresa. Por otro lado, en la Figura 4 se muestra el diagrama de flujo del proceso de corte.



**Figura 3.** Implantación de la máquina de corte en la empresa.



**Figura 4.** Diagrama de flujo del proceso de corte en la empresa.

### 6.1.1. Ubicación del material

Es la primera etapa del proceso en donde, se cargan los tubos y se ubican en la mesa como se muestra en la Figura 5, apilándolos dependiendo de la cantidad que se vaya a cortar para la producción. En esta etapa el operador está expuesto a riesgos de salud por el manejo de cargas pesadas que debe realizar.



**Figura 5.** Ubicación del material para corte.

### 6.1.2. Sujeción del material

En la segunda etapa el operador sujeta el material con una prensa, como se observa en la Figura 6, de forma que facilite el transporte del mismo para los diferentes cortes que pueden ser realizados según sea requerido. En esta etapa el operador está expuesto a riesgos de salud por atrapamiento o caída del material que está manipulando.



**Figura 6.** a) Prensa para sujeción de material b) Sujeción del material para su traslado.

### 6.1.3. Transporte del material al área de corte

El traslado del material se lo realiza de manera manual por un operador como se observa en la Figura 7. El operador está expuesto nuevamente a riesgos por manejo de cargas y caídas del material que va a ser cortado. Esta etapa es repetitiva durante el proceso de corte ya que el operador se encarga de mover el material según sea requerido.



**Figura 7.** Transporte del material al área de corte.

#### **6.1.4. Medición de longitud de corte**

Una vez que el material está ubicado en la posición cero del área de corte se mide la longitud requerida para realizar el corte mediante una cinta métrica ubicada posterior a la sierra, como se muestra en la Figura 8. Se usa un tope a la longitud deseada para mantener la mayor precisión de longitud de corte, sin embargo, este tope debe ser continuamente revisado y ajustado de ser necesario. Al ser una actividad manual, el operador debe estar continuamente moviendo el material exponiéndose nuevamente a complicaciones de salud por causas previamente mencionadas en las secciones 6.1.1 y 6.1.2.



**Figura 8.** Medición de longitud de corte requerido.

#### **6.1.5. Sujeción lateral del material**

Mediante mordazas laterales y superiores el operador sujeta el material de manera que se minimice o evite el movimiento de este durante el corte como se muestra en la Figura 9. En esta etapa el operador está expuesto a riesgos de atrapamiento tanto por las mordazas y por el material a ser cortado.



**Figura 9.** Sujeción lateral del material para corte.

### 6.1.6. Corte

La etapa final del proceso es precisamente el corte del material. En esta etapa el operador enciende la sierra de cinta y como se observa en la Figura 10, manualmente acciona el movimiento lateral de la misma para realizar el corte, exponiéndose a riesgos de heridas por cortes.



**Figura 10.** Corte del material.

## 6.2. Normativa para seguridad de levantamiento de cargas

Según la información recopilada de la norma ISO 11228-1 [8] la altura recomendada a la que una persona puede elevar una carga depende del peso a elevar y de la estatura de la persona, recomendando elevar una carga hasta la altura de los

nudillos, es decir el 40% de la altura de la persona y que no se eleve una carga más allá de la altura de los codos, es decir el 60% de la altura de la persona. La estatura promedio de un hombre en el Ecuador es de 167,1cm [9], por lo tanto, la altura promedio que debe tener la estructura es de 84cm. Este valor se encuentra dentro de las alturas de sierras comerciales mostrados en la sección 5.3. Además, la frecuencia para un levantamiento no debe exceder de 1 hora por día y la masa del objeto no debe superar los 25kg.

### 6.3. Normas para estructuras metálicas

Según la recopilación de normas NEC (Norma Ecuatoriana para la Construcción) [10] para estructuras de acero, el mínimo esfuerzo de fluencia del material utilizado no debe ser inferior a 345MPa. Con esto se espera que el material pueda regresar a su estado sin deformaciones en caso de ser retirada una carga que haya provocado las mismas. Por lo tanto, los materiales recomendados para el diseño de una estructura y su esfuerzo mínimo de fluencia [11] se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5. Aceros estructurales [10] [11].

Acero estructural ASTM	Esfuerzo mínimo de fluencia
A36/A36 M	250MPa
A53/A53 M (Grado B)	240MPa
A500 (Grado B o C)	290-345MPa
A501	250-345MPa
A572/A572M (Grado 50)	345MPa
A588/A588M	345MPa
A992/A992M	345MPa

### 6.4. Normativa para tableros eléctricos

Según las normas internacionales [12], [13] y [14] el diseño de un tablero eléctrico debe considerar como puntos principales el nivel de protección contra ingreso de

partículas o cuerpos extraños que puedan entrar en contacto con las partes energizadas y los requisitos para el diseño de los gabinetes en cuanto a materiales y tamaños. En el Ecuador, la norma NEC [15] indica que los tableros deben estar ubicados a una altura entre 0,6 y 2m contados desde el nivel del suelo. En el tablero principal deben estar montados las fuentes principales de suministro de energía y los dispositivos de protección de los alimentadores. Los tableros de control y medición contienen los elementos de protección, medición y maniobra que permiten la operación de artefactos de forma manual o programada. El control y medición pueden estar unidos o en tableros independientes alimentados desde el tablero principal.

## **6.5. Datos del proceso de corte en la empresa**

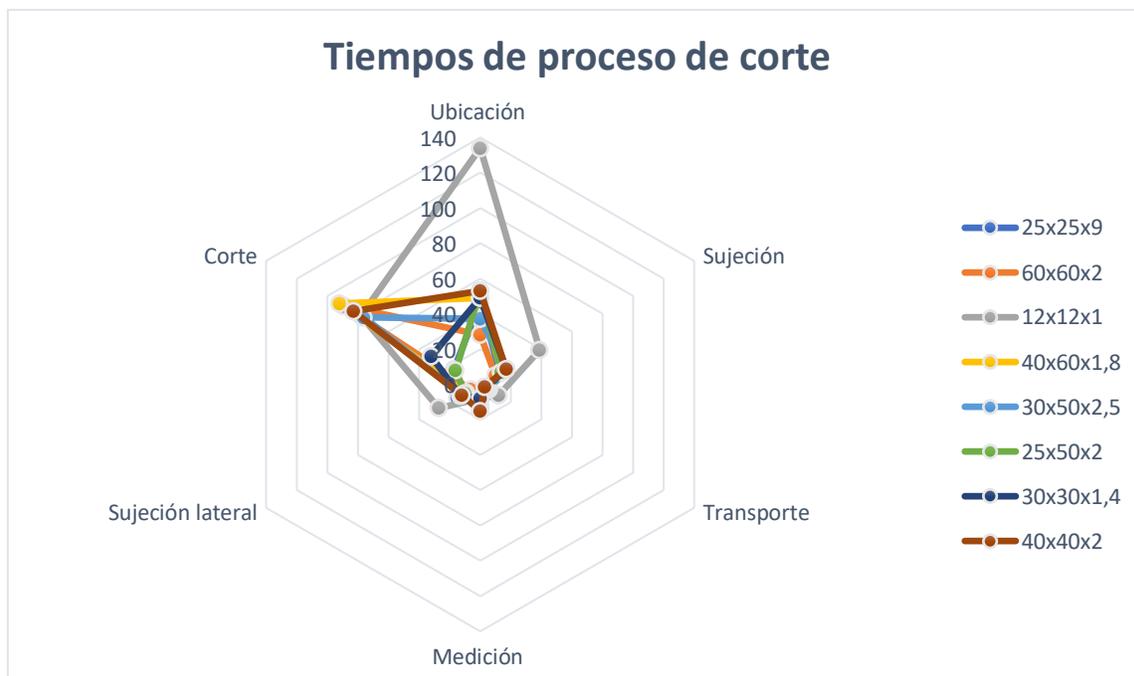
La empresa realiza trabajos con tubos cuadrados de hasta 40mm y rectangulares de 40x80mm. Los trabajos con tubos de mayores dimensiones se realizan únicamente bajo pedido. Para cada trabajo se debe cumplir con las etapas descritas en la sección 6.1. Cada una toma un tiempo que depende de la longitud, cantidad y tipo de tubo que se va a cortar. En la Tabla 6 se presentan los tiempos de cada etapa para tuberías de distintas geometrías, los valores se miden de acuerdo a la cantidad total de tubos, es decir que el proceso de corte se realiza con todos los tubos necesarios en grupo y no uno a la vez. El tiempo de ubicación se refiere al cuanto demora el operario en ubicar la cantidad de tubos a ser cortada, en el transportador. La sujeción indica cuanto toma prensar los tubos. El transporte muestra cuanto demora ubicar los tubos nuevamente a la dimensión especificada. La medición por su parte determina el tiempo para ubicar el tope a la longitud determinada para cortar. La sujeción lateral indica el tiempo para prensar los tubos en la sierra donde la presión debe ser mayor para evitar el desplazamiento de los mismos al iniciar el corte. El tiempo de corte se toma desde que la cinta topa con el tubo hasta que este se desprende. El tiempo a automatizar es la suma de las diferentes etapas sin considerar la ubicación ya que esta es realizada por el operador.

**Tabla 6.** Datos de tiempos de corte.

Dimensiones del tubo [mm]	Cantidad	Longitud [cm]	Etapa	Tiempo [s]	Tiempo a automatizar [s]
25x25x9	7	46	Ubicación	47	57
			Sujeción	13	
			Transporte	4	
			Medición	8	
			Sujeción lateral	15	
			Corte	17	
60x60x2	4	6	Ubicación	28	113
			Sujeción	10	
			Transporte	3	
			Medición	5	
			Sujeción lateral	6	
			Corte	89	
12x12x1	100	32	Ubicación	134	164
			Sujeción	39	
			Transporte	12	
			Medición	8	
			Sujeción lateral	27	
			Corte	78	
40x60x1,8	6	15	Ubicación	49	128
			Sujeción	14	
			Transporte	5	
			Medición	8	
			Sujeción lateral	9	
			Corte	92	
30x50x2,5	8	27	Ubicación	37	122
			Sujeción	17	
			Transporte	6	
			Medición	11	
			Sujeción lateral	12	
			Corte	76	
25x50x2	5	40	Ubicación	53	58
			Sujeción	14	
			Transporte	5	
			Medición	13	
			Sujeción lateral	10	
			Corte	16	
30x30x1,4	7	12	Ubicación	49	74
			Sujeción	17	
			Transporte	4	

			Medición	8	
			Sujeción lateral	13	
			Corte	32	
40x40x2	9	20	Ubicación	53	130
			Sujeción	17	
			Transporte	3	
			Medición	15	
			Sujeción lateral	12	
			Corte	83	

En la Figura 11 se muestra un resumen de los datos de tiempo recopilados de la empresa para diferentes cortes realizados.



**Figura 11.** Tiempos de corte iniciales de la empresa.

De los datos recopilados de la empresa se puede concluir que los tiempos se ven afectados de acuerdo a la cantidad de tubos que se vaya a cortar y las dimensiones de los mismos. Siendo mayor el tiempo de ubicación y menor el tiempo de sujeción mientras mayor sea la cantidad de tubos. Además, el tiempo de corte se ve afectado directamente por las dimensiones del tubo, es decir a mayor dimensión más tiempo de corte.

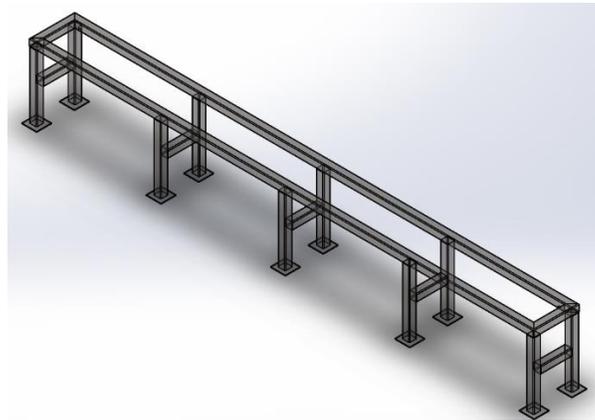
## 7. DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO

En esta sección se realiza el dimensionamiento de los diferentes elementos que componen la máquina y son necesarios para su automatización, se realiza la selección y diseño de componentes mecánicos, dimensionamiento de componentes electrónicos y el algoritmo de programación.

### 7.1. DIMENSIONAMIENTO MECÁNICO

#### 7.1.1. Diseño del chasis

Para el diseño del chasis se considera la viga más larga del mismo que se encuentra empotrada en sus extremos, la longitud comercial de un tubo de acero (6m) y el caso crítico que se puede presentar durante la producción. Por lo tanto, el chasis se bosqueja de forma que se tengan 5 apoyos distribuidos en 6m, de esta forma la viga de mayor longitud será de 1,5m. El esquema del chasis se muestra en la Figura 12.



**Figura 12.** Esquema de chasis.

Los límites de deflexión considerados en el presente diseño, de acuerdo a lo recomendado en el libro de Resistencia de Materiales de Mott [16] se muestran en la Tabla 7. Dichos límites de deflexión dependen de la aplicación que tenga el elemento.

**Tabla 7.** Límites de deflexión sugeridos [16].

Elemento	Límite sugerido
Pieza general de máquina	$y_{max} = 0,0005$ a $0,003$ mm de longitud de viga
Precisión moderada	$y_{max} = 0,00001$ a $0,0005$ mm de longitud de viga
Alta precisión	$y_{max} = 0,000001$ a $0,00001$ mm de longitud de viga

Para el caso crítico se considera a los tubos como cuerpos macizos. Mediante (1) se determina la masa para diferentes dimensiones de tubos como se muestra en la Tabla 8 y con (2) la carga que debe soportar la viga. La cantidad permitida de cuerpos está restringida al área de trabajo especificada en la sección 4 y se analiza para los tamaños máximos y mínimos con los que trabaja la empresa. De esta manera se establece la masa máxima para cada dimensión, adicional se analiza un valor extra que es comúnmente solicitado bajo pedido a la empresa.

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (1)$$

$$m = \rho * v$$

$$w = m * g \quad (2)$$

Donde

$\rho$  Densidad, en  $\left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right]$

$m$  Masa, en [kg]

$v$  Volumen, en  $[\text{m}^3]$

$w$  Carga producida por el tubo, en [N]

$g$  Gravedad,  $9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

**Tabla 8.** Valores de masa en caso crítico

Tubo	Dimensiones [mm]		Cantidad X	Cantidad Y	Cantidad Total	Área	Masa máxima por metro [kg/m]
Cuadrado	40		7,1	4,3	28	0,0016	353,92
	60		4,8	2,8	8	0,0036	227,52
	12		23,8	14,2	322	0,000144	366,31
Rectangular	40	80	7,1	2,1	14	0,0032	353,92
			3,6	4,3	12		
	20	40	14,3	4,3	56	0,0008	353,92
			7,1	8,5	56		

De acuerdo a las dimensiones establecidas y la densidad del material especificada en la sección 5.6 y según la norma para estructuras metálicas [11] una estructura de maquinaria debe ser diseñado con un factor de seguridad de al menos 1,2 veces la carga que debe soportar, la misma que está marcada en la Tabla 8.

Una vez determinado el valor crítico de carga que podría resistir el chasis,  $w=4312.17\text{N/m}$ , se plantea el esquema para una viga empotrada en los extremos con carga distribuida constante como se muestra en la Figura 13.

**Figura 13.** Viga empotrada en sus extremos con carga distribuida constante.

Según Mott [16], al analizar a la viga como una carga puntual se determinan las reacciones mediante (3), los momentos mediante (4).

$$R_a = R_b = \frac{W}{2} \quad (3)$$

$$W = w * L$$

$$M_a = M_b = \frac{-W * L}{12} \quad (4)$$

$$y_{max} = \frac{W * L^3}{384 * E * I} \quad (5)$$

Donde

$R_a$	Reacción en el punto a, en [N]
$R_b$	Reacción en el punto b, en [N]
$M_a$	Momento en el punto a, en [Nm]
$M_b$	Momento en el punto b, en [Nm]
$W$	Carga total producida por los tubos, en [N]
$L$	Longitud de la viga, en [m]
$E$	Elasticidad, en [MPa]
$I$	Inercia, en [mm <sup>4</sup> ]

Mediante los valores presentados en la Tabla 6 para elementos de precisión moderada se determinan los valores admisibles de deflexión obteniendo los siguientes resultados

$$R_a = R_b = 3234\text{N}$$

$$M_a = M_b = -809\text{Nm}$$

$$0,015\text{mm} < y_{max} < 0,75\text{mm}$$

Reemplazando los valores obtenidos en (5) se determina la inercia necesaria del acero estructural para el chasis, la cual en valor promedio debe ser  $74,31\text{cm}^4$ . En la Figura 14 se muestra un extracto del catálogo de tubería mecánica estructural [17] de la empresa IMPORT ACEROS con la selección tanto para tubo rectangular como para cuadrado.

DESIGNACIONES		AREA	PESO	PROPIEDADES ESTATICAS		
B	e			Eje x-x = y-y		
				MOMENTO DE INERCIA	MÓDULO DE RESISTENCIA	RADIO DE GIRO
mm	mm	cm <sup>2</sup>	kg/m	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm
75	1,50	4,35	3,42	38,92	10,38	2,99
	1,80	5,19	4,07	45,95	12,25	2,98
	2,00	5,74	4,50	50,50	13,47	2,97
	2,50	7,09	5,56	61,40	16,37	2,94
	3,00	8,41	6,60	71,65	19,11	2,92
	4,00	10,95	8,59	90,29	24,08	2,87
	90	1,80	6,27	4,92	80,71	17,94
	2,00	6,94	5,45	88,87	19,75	3,58
	2,50	6,59	6,74	108,57	24,13	3,56
	3,00	10,21	8,01	127,32	28,29	3,53
	4,00	13,35	10,48	162,02	36,01	3,48

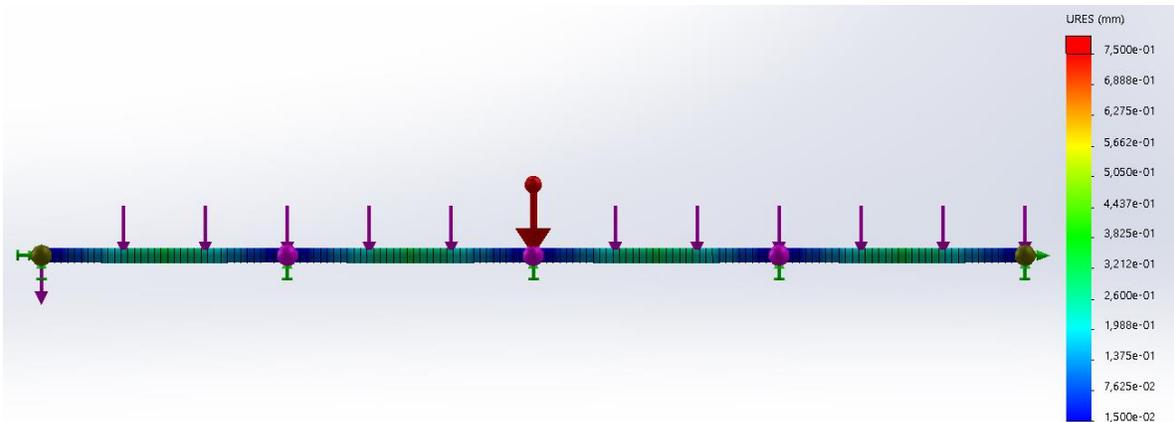
a

DESIGNACIONES		AREA	PESO	PROPIEDADES ESTATICAS						
B	H			EJE X-X			EJE Y-Y			
				Módulo de inercia	Módulo de resistencia	Radio de giro	Módulo de inercia	Módulo de resistencia	Radio de giro	
mm	mm	mm	cm <sup>2</sup>	kg/m	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm
50	100	1,50	4,35	3,42	57,77	11,55	3,64	19,89	7,96	2,14
		1,80	5,19	4,07	68,77	13,64	3,63	23,41	9,37	2,12
		2,00	5,74	4,50	74,99	15,00	3,62	25,68	10,27	2,12
		2,50	7,09	5,56	91,66	17,84	3,62	31,07	12,97	2,09
		3,00	8,41	6,60	106,49	21,30	3,56	36,09	14,44	2,07
		4,00	10,95	8,59	134,24	26,85	3,50	45,05	18,02	2,03
50	150	1,80	6,99	5,48	188,33	25,11	5,19	33,87	13,55	2,20
		2,00	7,74	6,07	207,54	27,67	5,18	37,21	14,88	2,19
		2,50	9,59	7,53	254,09	33,88	5,15	45,19	18,08	2,17
		3,00	11,41	8,96	298,58	39,81	5,12	52,68	21,07	2,15
		4,00	14,95	11,73	381,49	50,87	5,05	66,27	26,51	2,11
		5,00	18,36	14,41	456,54	60,87	4,99	78,12	31,25	2,06

b

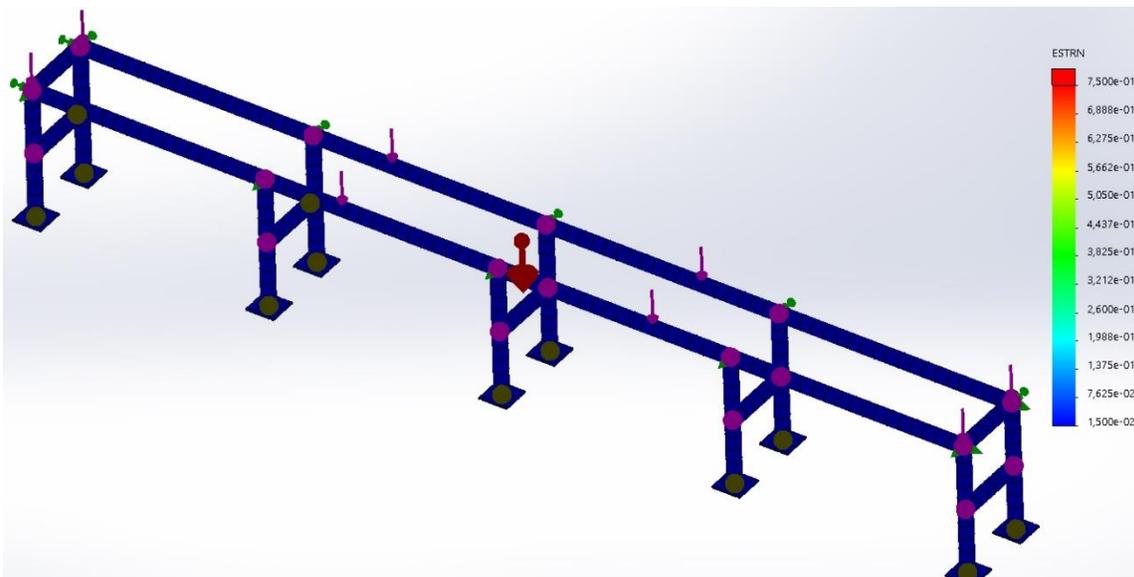
**Figura 14.** Selección de tubo estructural a) Cuadrado b) Rectangular. [17]

En la Figura 15 se muestra el análisis de la viga (realizado en SolidWorks 2019), en donde se puede apreciar que la deformación de la viga está dentro de los parámetros calculados.



**Figura 15.** Análisis de deformación de viga de chasis

De la misma manera en la Figura 16, se presenta el análisis para el chasis, en el cual se ve que la deformación no supera los valores mínimos calculados ( $0,015\text{mm} < y_{\text{max}} < 0,75\text{mm}$ ).



**Figura 16.** Análisis de deformación del chasis

#### 7.1.1.1. Diseño de las juntas

Para realizar las uniones de los perfiles seleccionados en la Figura 14, se utiliza una solda mediante electrodo 6013 que ofrece una penetración ligera la cual es recomendada para materiales delgados. La soldadura es diseñada a flexión ya que debe soportar el peso tanto de los perfiles como del material a transportar. Según

Shigley [18], cuando el elemento y el accesorio existen se debe definir las condiciones de soldadura. En este caso se debe determinar la altura de la soldadura para lo cual se utiliza (6) y (7), donde el parámetro  $I$  está determinado por (8).

$$\tau' = \frac{F}{A} \quad (6)$$

$$\tau'' = \frac{M * \bar{y}}{I} \quad (7)$$

$$I = 0,707 * h * I_u \quad (8)$$

Donde

$\tau'$	Esfuerzo vertical por flexión en la soldadura, en [MPa]
$\tau''$	Esfuerzo horizontal por flexión en la soldadura, en [MPa]
$F$	Fuerza aplicada, en [N]
$A$	Área de la soldadura, en [m]
$M$	Momento flector, en [Nm]
$\bar{y}$	Longitud al centro de gravedad de la soldadura, en [m]
$I_u$	Segundo momento unitario del área, en [m <sup>3</sup> ]
$I$	Segundo momento del área, en [m <sup>4</sup> ]
$h$	Altura de la soldadura, en [m]

Se toma el modelo de la Figura 17 como el tipo de soldadura y las respectivas ecuaciones a utilizar.

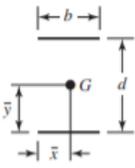
Soldadura	Área de la garganta	Ubicación de G	Segundo momento unitario del área
	$A = 1.414hd$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{bd^2}{2}$

Figura 17. Modelo para soldadura,

Según Shigley [18] la longitud recomendada para el cateto de la soldadura (h) para un electrodo E60xx según la fuerza a la que se encuentra sometido (5385,7N) es de ½ de pulgada y el esfuerzo permisible en la garganta de soldadura es de 124MPa. De acuerdo a esto, y los valores obtenidos en la Tabla 8 se obtienen los siguientes resultados:

$$\tau' = \frac{5385,7}{1,414 * \frac{1}{2} * 0,0254 * 0,09}$$

$$\tau' = 3,33\text{MPa}$$

$$\tau'' = \frac{M * \bar{y}}{0,707 * \frac{1}{2} * 0,0254 * I_u}$$

$$\tau'' = \frac{8078,54 * 0,045}{0,707 * \frac{1}{2} * 0,0254 * \frac{0,09 * 0,09^2}{2}}$$

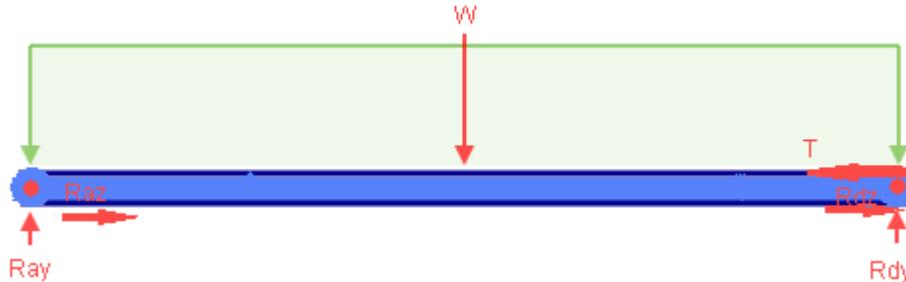
$$\tau'' = 111,07\text{MPa}$$

El Esfuerzo total se determina mediante teorema de Pitágoras, obteniendo un valor de 111,12MPa, al ser menor que el valor permisible se acepta tanto el tamaño del cateto de soldadura (12,7mm) como el tipo de electrodo (6013).

### 7.1.2. Diseño del sistema de transporte

En base a las ventajas y desventajas de los sistemas de transporte analizados en la sección 5.8 se selecciona para el presente proyecto un sistema de cadena adecuado con una carretilla de manera que facilite la sujeción de los tubos. El

sistema de cadena permite una fácil traslación del material y resiste grandes pesos. En la Figura 18 se muestra un esquema del sistema transportador con las cargas que lo conforman.



**Figura 18.** Esquema de sistema transportador de cadena

Donde

$R_{az}$  Reacción en el punto a sobre el eje z, en [N]

$R_{ay}$  Reacción en el punto a sobre el eje y, en [N]

$R_{bz}$  Reacción en el punto b sobre el eje z, en [N]

$R_{by}$  Reacción en el punto b sobre el eje y, en [N]

$T$  Momento torsor, en [Nm]

$W$  Fuerza producida por carga crítica, en [N]

En los siguientes puntos se selecciona y diseñan los elementos principales del sistema de transporte.

### 7.1.2.1. Selección de cadena

En la industria las cadenas son elementos de gran aplicación debido a su versatilidad para diferentes tareas, bajo costo y larga vida útil. Dependiendo de la aplicación y el peso a transportar existen varios tipos de cadenas que cumplen la función de transmitir el movimiento de arrastre entre ruedas dentadas. En la Tabla 9 se resumen las características de varios tipos de cadena.

Tabla 9. Tipos de cadena [19]

Tipo	Pasos [mm]	Carga [kg]	Aplicaciones	Imagen
Bulones de acero	De 32 a 150	De 153 a 1224	Máquinas agrícolas Instalaciones de elevación Sistema de transporte	
Articulada desmontable	De 22 a 148	De 30,6 a 327	Máquinas agrícolas Instalaciones de elevación Sistema de transporte	
Galle	De 15 a 120	De 0,7 a 112	Ascensores Aparatos elevadores	
De rodillo	De 6 a 76,2	De 330 a 60200	Todo tipo de aplicaciones Trabajos a velocidades bajas	

Para la selección de cadena se considera la carga crítica determinada en la sección 7.1.1 de 366kg/m, la longitud de un tubo comercial (6m) y la velocidad típica de máquinas industriales determinada en la sección 5.3 (entre 9 a 18rpm). Según la información de la sección 6.5 la producción diaria promedio de tubos en la empresa es de 146 tubos, los cuales toman un tiempo promedio de 846 segundos en cumplir el proceso de corte. Conociendo estos valores se procede a calcular mediante (9) el peso del material [20]

$$W_m = \frac{16,67 * TPH}{S} \quad (9)$$

Donde

$W_m$  Peso del material, en [kg/m]

$TPH$  Capacidad del transportador, en [tn/h]

$S$  Velocidad del transportador, en [m/min]

$$W_m = \frac{16,67 * 4,24 * \frac{1000}{60}}{108}$$

$$W_m = 10.91 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

De acuerdo a la información recopilada en la Tabla 9, se determina que la cadena de rodillos es la más adecuada para el transporte de material. Según Mott [21], la distancia entre centros debe estar en un rango de 30 a 80 veces el paso de la cadena. Conociendo la distancia entre centros de 6m, el paso recomendado es de 75mm. Del catálogo de cadenas de rodillos de Joresa [22], se selecciona una cadena de rodillos que cumpla con las condiciones mencionadas. En la Tabla 10 se muestra las características de la cadena seleccionada

**Tabla 10.** Características de cadena seleccionada [22]

	CÓDIGO CODE		PASO PITCH		ANCHO INTERIOR INNER WIDTH A min. mm.	DIÁMETRO RODILLO ROLLER DIAMETER Ø D max. mm.	DIÁMETRO DEL EJE PIN DIAMETER Ø d max. mm.	LONGITUD DEL EJE PIN LENGTH H max. mm.	LONG. EJE UNIÓN CONN. LINK PIN LENGTH C max. mm.	SUPERFICIE ARTICULACIÓN PROJECTED BEARING AREA S' cm <sup>2</sup>	CARGA DE ROTURA AVG. TENSILE STRENGTH A.T.S. daN-Kg	PASOS POR METRO PITCHES PER METER P-Mtr. Aprox.	PESO POR METRO WEIGHT PER METER q Kg/m.
	JORESA	ISO	P Pulg.-Inch	P mm.									
Cadenas simples Simple roller chains	25*	04C-1	1/4	6,35	3,18	3,30	2,31	7,80	10,90	0,11	375	157	0,14
	35*	06C-1	3/8	9,525	4,68	5,08	3,59	12,18	15,48	0,27	1.050	105	0,33
	40	08A-1	1/2	12,70	7,85	7,95	3,96	17,80	21,70	0,45	1.850	79	0,64
	50	10A-1	5/8	15,875	9,40	10,16	5,08	21,80	25,90	0,71	3.050	63	1,06
	60	12A-1	3/4	19,05	12,57	11,91	5,94	26,90	31,50	0,97	4.150	52	1,58
	80	16A-1	1	25,40	15,75	15,88	7,92	33,50	38,90	1,76	7.250	39	2,61
	100	20A-1	1 1/4	31,75	18,90	19,05	9,53	41,10	47,20	2,58	11.000	31	3,85
	120	24A-1	1 1/2	38,10	25,22	22,23	11,10	50,80	57,40	3,90	14.550	26	5,55
	140	28A-1	1 3/4	44,45	25,22	25,40	12,70	54,90	62,30	4,67	19.150	22	7,70
	160	32A-1	2	50,80	31,55	28,58	14,27	65,50	73,40	6,40	25.500	20	10,00
	200	40A-1	2 1/2	63,50	37,85	39,68	19,84	80,30	90,50	10,85	38.800	16	16,69
	240	48A-1	3	76,20	47,35	47,63	23,80	95,50	106,00	16,11	52.650	13	25,17

Se procede a calcular el peso total de la cadena y accesorios mediante (10)

$$W_c = \eta * w_{cad} + \frac{w_{ac}}{x} \quad (10)$$

Donde

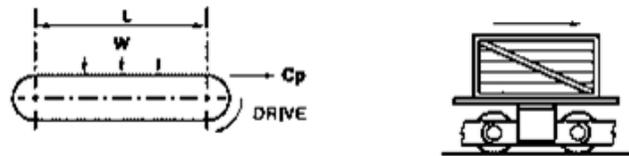
$W_c$	Peso total de la cadena, en [kg/m]
$\eta$	Número de hieras (adimensional)
$w_{cad}$	Peso por metro de la cadena (tabulado), en [kg/m]
$w_{ac}$	Peso de los accesorios, en [kg]
$x$	Espaciamiento, en [m]

El peso de los accesorios determinados para este cálculo es el peso de la entenalla provista por la empresa (11,2 kg), la cual servirá como carretilla en el sistema de transporte

$$W_c = 1 * 25,17 + \frac{11,2}{0,19}$$

$$W_c = 84,12 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

De acuerdo con el manual de diseño de cadenas transportadoras de Renold [23], la tensión máxima de la cadena depende de la aplicación de la cadena, en la Figura 19 se presenta el modelo aplicado en este diseño.



**Figura 19.** Modelo para la tensión de la cadena [23]

De acuerdo al modelo de cadena rodante y material transportado de la Figura 17, la tensión máxima se determina mediante (11)

$$C_p = 9,81 * \mu_c * [(2,05 * W_c * L) + w] \quad (11)$$

Donde

$C_p$	Tensión máxima de la cadena, en [N]
$\mu_c$	Coefficiente de fricción (Adimensional)
$W_c$	Peso total de la cadena, en [kg/m]
$L$	Distancia entre centros, en [m]
$w$	Carga total de transporte, en [kg]

El valor recomendado de coeficiente de fricción para este tipo de cadenas, con una lubricación esporádica es de 0,14 según Renold [23]. La carga total de transporte es de 2200kg, la cual se determina mediante el producto de la carga crítica mencionada en la sección 7.1.1 (366,31kg/m) y la longitud máxima del tubo (6m). Se obtienen los siguientes resultados:

$$C_p = 9,81 * 0,14 * [(2,05 * 84,12 * 6) + 2200]$$

$$C_p = 4442,5\text{N}$$

$$C_p = 4,4\text{kN}$$

La tensión del diseño depende de los factores de trabajo, velocidad y transmisión especificados en el catálogo de Joresa [22]. Por lo tanto, se determina la tensión del diseño mediante (12)

$$C_{p_{Diseño}} = C_p * f_1 * f_2 * f_3 \quad (12)$$

$$E = C_{p_{Diseño}} * f_s \quad (13)$$

Donde

$C_{p_{Diseño}}$	Tensión de diseño, en [N]
$C_p$	Tensión máxima de la cadena, en [N]
$E$	Carga de rotura, en [N]
$f_1$	Factor de trabajo (Adimensional)
$f_2$	Factor de velocidad (Adimensional)
$f_3$	Factor de transmisión (Adimensional)
$f_s$	Factor de seguridad (Adimensional)

$$C_{p_{Diseño}} = 4442,5 * 1,5 * 0,92 * 1$$

$$C_{p_{Diseño}} = 6743,72\text{N}$$

$$C_{p_{Diseño}} = 6,7 \text{ kN}$$

El factor de seguridad depende del número de hileras de la cadena. La cadena seleccionada es una cadena simple (1 hilera) por lo cual el fabricante recomienda un factor de seguridad de 5,1 [22]. El esfuerzo último de la cadena o carga de rotura, se determina mediante (13) obteniendo:

$$E = 6743,72 * 5,1$$

$$E = 34392,97 \text{ N}$$

$$E = 34,4 \text{ kN}$$

Al ser este valor menor al de la cadena seleccionada (526,5 kN) se acepta la cadena. Serie ISO-606, código 48A-1.

### 7.1.2.2. Selección de piñón

Considerando la investigación realizada en la sección 5.3 la velocidad de alimentación de las máquinas industriales varía entre 9 a 18rpm. Según Mott [21] la cantidad mínima de dientes que debe tener la catalina de un sistema de transmisión de cadena es de 17 para velocidades bajas (hasta 100rpm). Con este valor y las características de la cadena seleccionada en la Tabla 10, se determina el diámetro primitivo del piñón mediante (14), mientras que, el diámetro exterior se calcula con (15).

$$D_p = \frac{p}{\sin\left(\frac{180}{N_d}\right)} \quad (14)$$

$$D_e = p * \left[0,6 + \cot\left(\frac{180}{N_d}\right)\right] \quad (15)$$

Donde

$D_p$                       Diámetro primitivo, en [mm]

$D_e$	Diámetro exterior, en [mm]
$p$	Paso, en [mm]
$N_d$	Número de dientes (Adimensional)

$$D_p = \frac{76,2}{\sin\left(\frac{180}{17}\right)}$$

$$D_p = 414,7\text{mm}$$

$$D_p = 16,33\text{plg}$$

$$D_e = 76,2 * \left[0,6 + \cot\left(\frac{180}{17}\right)\right]$$

$$D_e = 453,35\text{mm}$$

$$D_e = 17,85\text{plg}$$

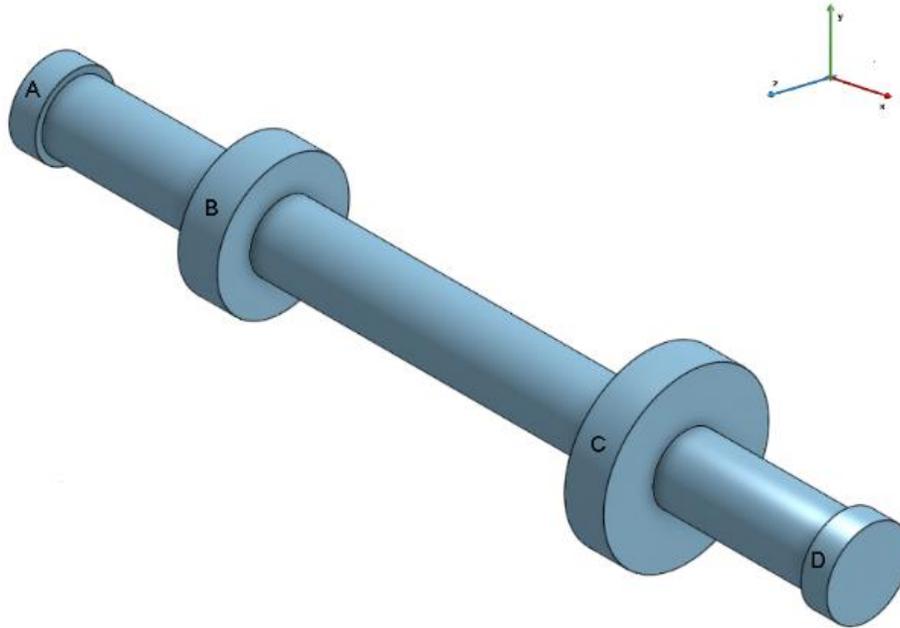
Por lo tanto, del catálogo de AMH [24] se selecciona un piñón que cumpla con el paso de la cadena seleccionada en la Tabla 10 y que tenga al menos 17 dientes. En la Tabla 11 se muestran las características del piñón seleccionado.

**Tabla 11.** Características del piñón seleccionado

		Dimensions are in Inches				
		P.D	O.D	Chain O.D	A	B
142 STD Series Symmetrical	6T/6B	11.18	11.80	13.250	1.97	0.67
	7T/7B	12.88	13.50	15.000	1.97	0.67
	8T/8B	14.60	15.25	16.690	1.97	0.67
	9T/9B	16.35	17.00	18.430	1.97	0.67
	10T/10B	18.09	19.25	20.190	1.97	0.67
	11T/11B	19.84	21.06	21.940	1.97	0.67
	14T/14B	25.12	26.37	27.240	1.97	0.67

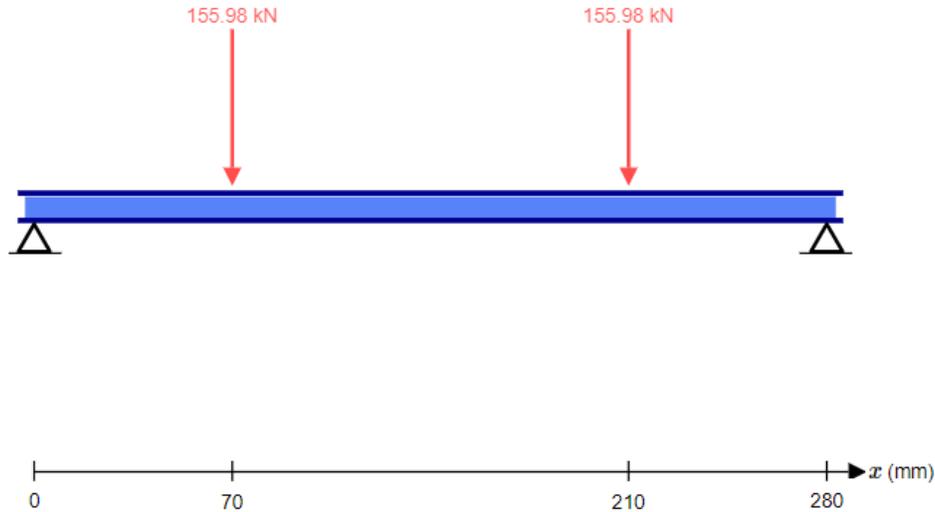
### 7.1.2.3. Eje del sistema transportador

Para el diseño del eje se considera el esquema que se aprecia en la Figura 20. En dicho esquema se muestran los cojinetes A y D que se representan como apoyos simples. Mientras que, los puntos B y C son las catalinas que transmiten la fuerza de la cadena.



**Figura 20.** Esquema del eje del sistema transportador

En el caso de una catalina, el momento que ejerce una fuerza sobre el eje [18] se determina mediante (16). Una vez determinada dicha fuerza, se calculan las reacciones en los cojinetes a través de condiciones de equilibrio de (17). En la Figura 21 se presenta el diagrama de cuerpo libre del eje en el plano XZ.



**Figura 21.** Diagrama de cuerpo libre del eje, plano XZ

$$T = F_t * \frac{D}{2} \quad (16)$$

$$F = Ra_z + Rd_z \quad (17)$$

Donde

$T$  Momento torsor, en [Nm]

$F_t$  Fuerza del lado tenso de la cadena, en [N]

$D$  Diámetro del piñón, en [m]

$Ra_z$  Reacción en eje z sobre el cojinete A, en [N]

$Rd_z$  Reacción en eje z sobre el cojinete D, en [N]

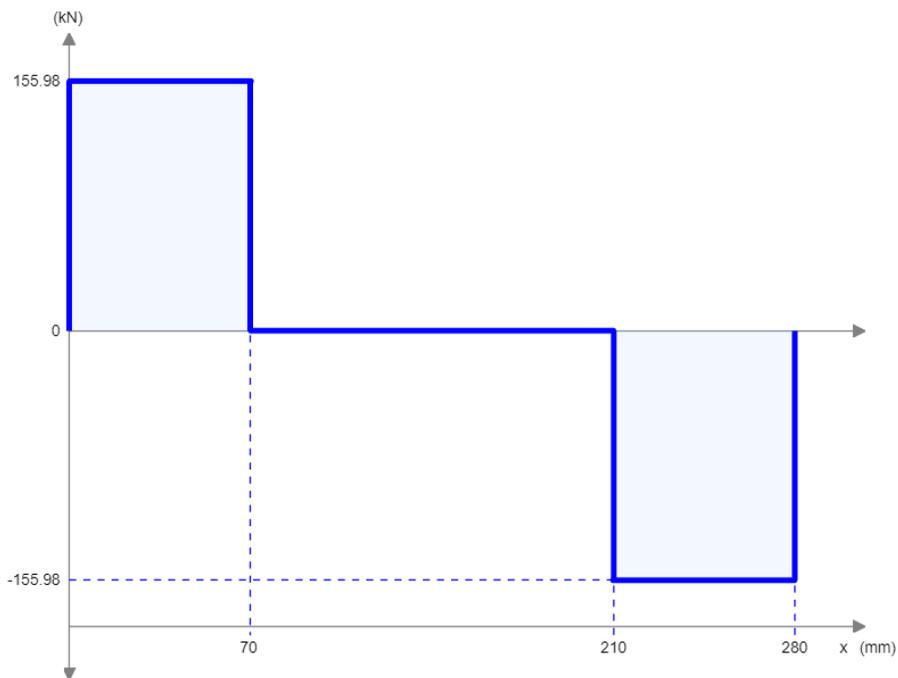
El diámetro del piñón seleccionado está dado por las especificaciones del fabricante (17 pulgadas). Mientras que, el momento torsor se calcula con el peso máximo calculado en la sección 7.1, obteniendo los siguientes valores:

$$32341,27 \text{ Nm} = F_t * \frac{0,415\text{m}}{2}$$

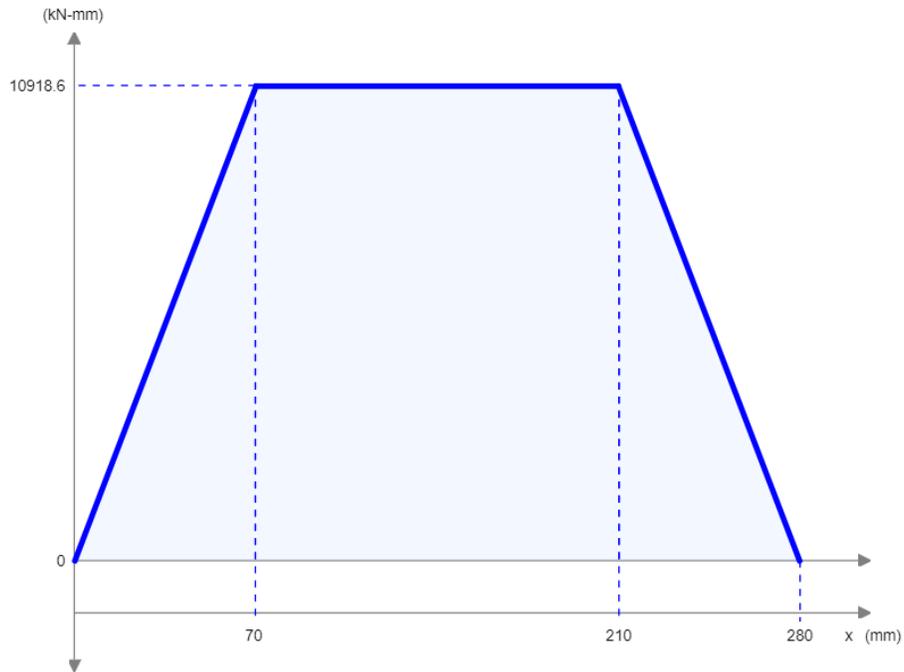
$$F_t = 155,98.12\text{kN}$$

$$Ra_z = Rd_z = 155,98\text{kN}$$

Una vez determinados los valores de las reacciones se realizan los diagramas de cortantes y momentos en el plano XZ mostrados en la Figura 22 y Figura 23, respectivamente.

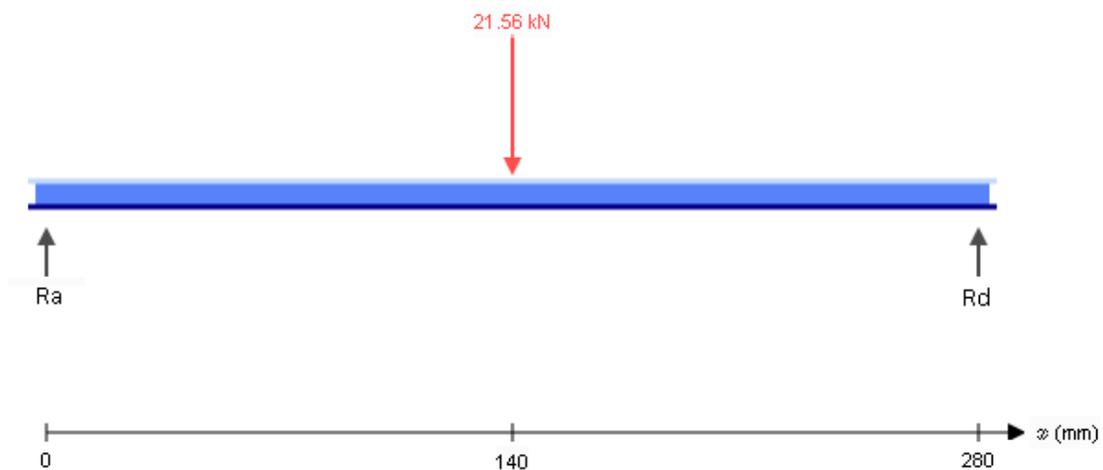


**Figura 22.** Diagrama de cortantes, plano XZ



**Figura 23.** Diagrama de momentos, plano XZ

Para el análisis en el plano XY la fuerza producida por el peso se traslada hasta el eje, el diagrama de cuerpo libre del plano XY se muestra en la Figura 24. Mediante condiciones de equilibrio se obtiene (18) y los respectivos valores de las reacciones en los cojinetes.



**Figura 24.** Diagrama de cuerpo libre del eje, plano XY

$$W = Ra_y + Rd_y \quad (18)$$

Donde

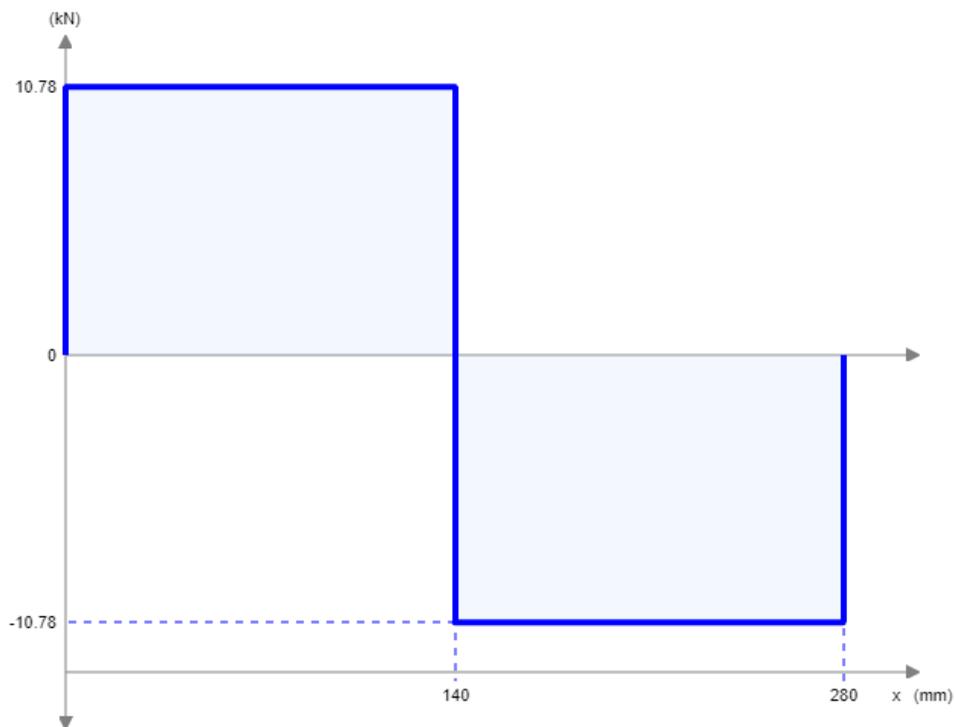
$W$  Fuerza producida por carga critica, en [N]

$Ra_y$  Reacción en eje y sobre el cojinete A, en [N]

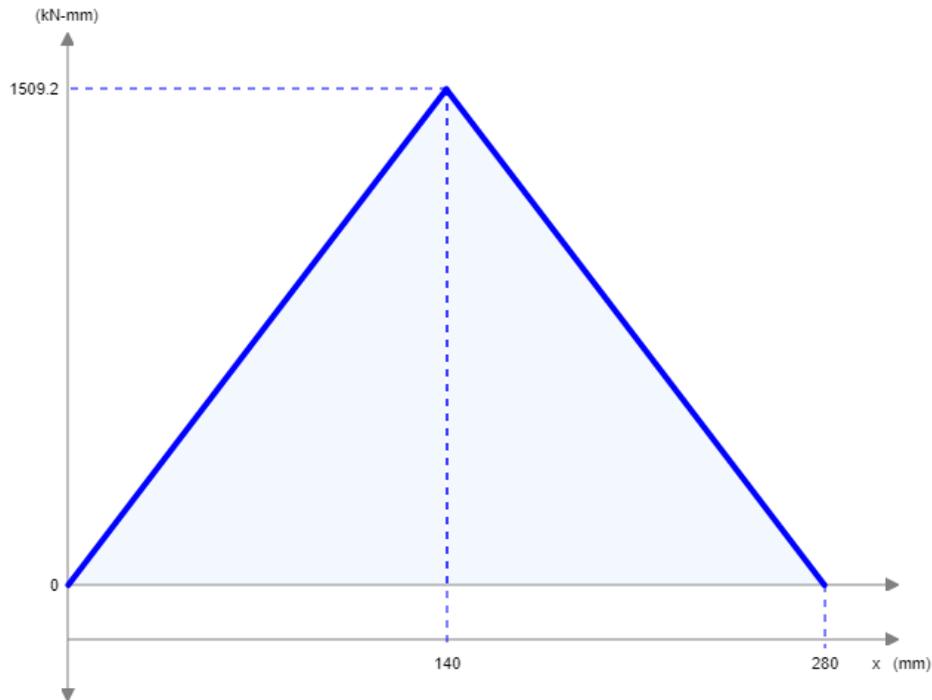
$Rd_y$  Reacción en eje y sobre el cojinete D, en [N]

$$Ra_y = Rd_y = 10,78\text{kN}$$

Con los valores de las reacciones determinados se realizan los diagramas de cortantes y momentos en el plano XY mostrados en la Figura 25 y Figura 26 respectivamente.



**Figura 25.**Diagrama de cortantes, plano XY



**Figura 26.** Diagrama de momentos, plano XY

El diámetro del eje está dado por la dimensión interna del piñón, que equivale a un valor de 2,638plg. El eje está sometido a torsión y flexión constante. Además, considerando la velocidad de 18rpm (según la investigación en la sección 5.3) se realiza un diseño a vida infinita para lo cual se especifica un factor de seguridad. Por ello se utiliza las recomendaciones de la Norma Ecuatoriana de la Construcción [10], que menciona que, para estructuras de acero se debe considerar un factor de seguridad entre 1,3 y 1,5. Con esto, se utiliza el criterio de Von Mises según (19) para el cálculo de los esfuerzos y la recta de Goodman según (20) para el criterio de falla según el libro de Diseño en ingeniería mecánica de Shigley [18].

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \quad (19)$$

$$\frac{1}{\eta} = \frac{\sigma_{eq_a}}{S_e} + \frac{\sigma_{eq_m}}{S_{ut}} \quad (20)$$

$$\sigma = \frac{32 * M_f}{\pi d^3} \quad (21)$$

$$\tau = \frac{16 * M_t}{\pi d^3} \quad (22)$$

Donde

$\sigma_{eq}$	Esfuerzo equivalente, en [MPa]
$\sigma$	Esfuerzo por flexión, en [MPa]
$\tau$	Esfuerzo por Torsión, en [MPa]
$\eta$	Factor de seguridad (adimensional)
$\sigma_{eq_a}$	Esfuerzo equivalente alternante, en [MPa]
$\sigma_{eq_m}$	Esfuerzo equivalente medio, en [MPa]
$S_e$	Límite a la fatiga, en [MPa]
$S_{ut}$	Resistencia ultima a la tracción, en [MPa]
$M_f$	Momento flector, en [KNm]
$M_t$	Momento torsor, en [KNm]
$d$	Diámetro del eje, en [m]

Al ser cargas constantes el esfuerzo alternante no existe. Los esfuerzos por flexión y torsión son calculados mediante (21) y (22), respectivamente. Por lo tanto, lo que se debe determinar es el material del cual debe ser elaborado el eje para soportar las cargas en función del  $S_{ut}$  que se obtiene a continuación:

$$\frac{1}{1,5} = \frac{\sqrt{\left(\frac{32 * 3,02}{\pi * 0,067^3}\right)^2 + 3 * \left(\frac{16 * 32,34}{\pi * 0,067^3}\right)^2}}{S_{ut}}$$

$$S_{ut} = 1,5 * \sqrt{\left(\frac{32 * 3,02}{\pi * 0,067^3}\right)^2 + 3 * \left(\frac{16 * 32,34}{\pi * 0,067^3}\right)^2}$$

$$S_{ut} = 1431\text{MPa}$$

Una vez determinada la resistencia última, se selecciona un material según Shigley [18] que cumpla o supere este valor. En la Figura 27 se observa el material en base al valor de resistencia última.

**Tabla A-22**

Resultados de ensayos a la tensión de algunos metales\* Fuente: J. Datsko, "Solid Materials", capítulo 32, en Joseph E. Shigley, Charles R. Mischke y Thomas H. Brown, Jr. (editores en jefe). *Standard Handbook of Machine Design*, 3a. ed., McGraw-Hill, Nueva York, 2004, pp. 32.49-32.52.

Número	Material	Condición	Resistencia (a la tensión)				Resistencia a la deformación, exponente $m$	Resistencia a la fractura $e_f$
			Fluencia $S_{yf}$ MPa (kpsi)	Última $S_{yf}$ MPa (kpsi)	A la fractura, $\sigma_{fr}$ MPa (kpsi)	Coficiente $\sigma_{gr}$ MPa (kpsi)		
1018	Acero	Recocido	220 [32.0]	341 [49.5]	628 [91.1] <sup>†</sup>	620 [90.0]	0.25	1.05
1144	Acero	Recocido	358 [52.0]	646 [93.7]	898 [130] <sup>†</sup>	992 [144]	0.14	0.49
1212	Acero	HR	193 [28.0]	424 [61.5]	729 [106] <sup>†</sup>	758 [110]	0.24	0.85
1045	Acero	TyR 600°F	1 520 [220]	1 580 [230]	2 380 [345]	1 880 [273] <sup>†</sup>	0.041	0.81
4142	Acero	TyR 600°F	1 720 [250]	1 930 [210]	2 340 [340]	1 760 [255] <sup>†</sup>	0.048	0.43
303	Acero inoxidable	Recocido	241 [35.0]	601 [87.3]	1 520 [221] <sup>†</sup>	1 410 [205]	0.51	1.16
304	Acero inoxidable	Recocido	276 [40.0]	568 [82.4]	1 600 [233] <sup>†</sup>	1 270 [185]	0.45	1.67
2011	Aleación de aluminio	T6	169 [24.5]	324 [47.0]	325 [47.2] <sup>†</sup>	620 [90]	0.28	0.10
2024	Aleación de aluminio	T4	296 [43.0]	446 [64.8]	533 [77.3] <sup>†</sup>	689 [100]	0.15	0.18
7075	Aleación de aluminio	T6	542 [78.6]	593 [86.0]	706 [102] <sup>†</sup>	882 [128]	0.13	0.18

**Figura 27.** Selección de material para eje del sistema transportador [18].

Una vez seleccionado el acero AISI 1045, se determina mediante (20) que cumpla el valor de factor de seguridad. Realizando los respectivos reemplazos se obtiene un valor de 1,65 de factor de seguridad, por lo cual, se acepta el material seleccionado.

Para acoplar el piñón al eje se recomienda utilizar una chaveta, considerando que el movimiento de arrastre de la cadena puede provocar que un pasador se rompa. Además, la fabricación es económica y es aplicable para grandes tamaños de eje. De acuerdo Appold [25], para un diámetro de eje desde 65mm hasta 75mm la sección de la chaveta es de 20x12, con un ajuste normal el eje debe tener una

tolerancia de -0,052mm, una profundidad de 7,5mm con tolerancia +2. Mientras que, el cubo de la chavera debe tener una tolerancia de +- 0,026mm, una profundidad de 4,9mm con tolerancia +2. El chaflan de la chaveta debe ser mínimo 0,4mm y máximo 0,6mm de radio.

#### 7.1.2.4. Selección de rodamientos

Para la selección de rodamientos se consideran las cargas radiales y axiales que debe soportar el mismo, y el tiempo de vida útil. De acuerdo con Shigley [18], se puede combinar estas cargas formando una carga equivalente que ocasione los mismos esfuerzos en el cojinete mediante (23). La vida útil de un rodamiento se determina con (24). Donde el parámetro C, depende de ciertos factores tabulados, por ello, se calcula mediante (25).

$$F = V * x_r * F_r + y * F_a \quad (23)$$

$$\frac{L}{L_{10}} = \frac{\left(\frac{C}{F}\right)^k}{\omega * 60} \quad (24)$$

$$C = F * F_T * \frac{F_L}{F_N} \quad (25)$$

Donde

$F$	Carga equivalente, en [kN]
$V$	Factor de rotación (1 cuando gira la pista interna y 1,2 cuando gira la pista externa)
$x_r$	Factor de carga radial (adimensional)
$F_r$	Carga radial; en [kN]
$y$	Factor de carga axial (adimensional)
$F_a$	Carga axial, en [kN]

$L$	Vida útil, en [horas]
$L_{10}$	Duración básica ( $10^6$ rpm)
$C$	Capacidad dinámica, en [kN]
$k$	Factor de tipo de rodamiento (3 para rodamiento de bolas y $10/3$ para rodamiento de rodillos)
$\omega$	Velocidad angular, en [rpm]
$F_T$	Factor de temperatura (adimensional)
$F_L$	Factor de vida útil (adimensional)
$F_N$	Factor de velocidad (adimensional)

Para la selección del rodamiento se considera los valores calculados en la sección 7.1.2.3. Al no existir fuerzas en el eje X, no existe carga axial, mientras que, la carga radial se determina mediante el teorema de Pitágoras con las cargas existentes en los ejes Y y Z. De ello se obtiene una carga radial de 156,35kN. Los valores obtenidos para calcular la carga requerida para la elección del rodamiento y la determinación de su vida útil se presentan a continuación:

$$F = 1 * 0,56 * 156,35$$

$$F = 87,56\text{kN}$$

Según la guía de vida nominal de rodamientos [26], para cintas transportadoras se requiere una vida útil entre 10.000 a 25.000 horas de servicio. Con esto y, considerando el valor mínimo se determina la carga dinámica mediante los valores tabulados de los respectivos factores.

$$C = 87,56 * 1 * \frac{2.46}{1.18}$$

$$C = 182,53\text{kN}$$

Con la carga requerida se selecciona un rodamiento axial de rodillos 29414E disponible en el catálogo de rodamientos FAG [27] cuya carga dinámica es de 430kN, por lo tanto, se determina la vida útil del rodamiento.

$$L = \frac{1 * 10^6 * \left(\frac{430}{182,53}\right)^{\frac{10}{3}}}{18 * 60}$$

$$L = 16107,33h$$

Al estar dentro del rango de horas de servicio (10.000 a 25.000 horas) se acepta la selección de rodamiento.

### 7.1.2.5. Dimensionamiento del motor para el sistema de transporte

Con los cálculos de torque realizados en la sección 7.1.2.3 se determina mediante (26) la potencia que requiere el motor. Para esto se toma en cuenta que la potencia que se entrega al eje es la misma que debe ser distribuido en el sistema.

$$P = T * \omega \quad (26)$$

Donde

$P$  Potencia, en [HP]

$T$  Torque, en [Nm]

$\omega$  Velocidad angular, en [rpm]

Reemplazando los valores se obtiene

$$P = \frac{32,34 \times 10^6 * 18 * \frac{2\pi}{60} * 0,2248 * 3}{550}$$

$$P = 75HP$$

La potencia calculada se debe duplicar debido a que la calculada es la requerida para un engrane y el sistema utiliza 2. Por lo tanto, es requerido un motor de 150 HP de potencia. En el catálogo de Iván Bohman [28] se encuentra disponible un motor de la potencia necesaria con las características que se muestran en la Figura 28.



**Figura 28.** Motor para el sistema de transporte [28].

### 7.1.3. Selección del tornillo de potencia

Para realizar el corte de manera automática es necesario la adecuación de un tornillo de potencia. Este debe ser capaz de soportar el peso de la sierra para los movimientos laterales tanto de bajada para el corte como de subida para la ubicación del material. De acuerdo con TRI-UNION MACHINERY [29] el peso de la sierra de cinta G5018WA estaría dentro del rango de 140 a 170kg dependiendo de las adecuaciones que se incluyan (bombas refrigerantes y prensas de sujeción). La sierra empleada en la empresa PRODUVARI INDUSTRIAL cuenta con los aditamentos completos de la sierra, por lo tanto, se toma el peso máximo de la

misma. Con este peso se determina que la carga que debe soportar el tornillo será de 1,67kN y según UNIMEC [30] el tornillo de potencia MTP 183 permite una carga de 5kN. Las características se presentan en la Figura 29.



Tamaño		183
Carga admisible [daN]		500
Husillo trapecial: diámetro x paso [mm]		18x3
Relación de reducción teórica	rápida	1/5
	normal	1/20
	lenta	-
Relación de reducción real	rápida	4/20
	normal	1/20
	lenta	-
Carrera del husillo por una vuelta de la corona helicoidal [mm]		3
Carrera del husillo por una vuelta del tornillo sin fin [mm]	rápida	0,6
	normal	0,15
	lenta	-
Rendimiento [%]	rápida	29
	normal	24
	lenta	-
Temperatura de funcionamiento [°C]		-10 / 80
Peso husillo trapecial por 100 mm [kg]		0,16
Peso martinete (tornillo excluido) [kg]		1,8

**Figura 29.** Características del tornillo de potencia [30]

Este modelo de tornillo viene adaptado para acoplarlos directamente con motores de varios tipos

### 7.1.3.1. Dimensionamiento del motor para el tornillo de potencia

De acuerdo a la carga que debe soportar el tornillo y a la investigación realizada en la sección 5.3, se determina la potencia requerida del motor mediante la ecuación (27).

$$P = F * v \quad (27)$$

Donde

$P$             Potencia, en [HP]

$F$             Carga, en [N]

$v$  Velocidad lineal, en [m/s]

Reemplazando los datos se determina la potencia requerida para el motor que mueve el tornillo.

$$P = \frac{1667,7 * 0,25 * 0,2248 * 3}{550}$$

$$P = 0,51 \text{ HP}$$

La potencia del motor se determina en ½ HP, del catálogo de Iván Bohman [28] se selecciona el motor con las características que se muestran en la Figura 30.



**Figura 30.** Motor para el tornillo de potencia [28].

#### 7.1.4. Simulación del diseño mecánico

Para finalizar el diseño, en la Figura 31 se presenta una simulación 3D (realizada en SolidWorks 2019), donde se visualizan los componentes analizados en la sección 7.1.1, además, de una prensa que cumple la función de carretilla dentro del sistema de transporte. El ensamblaje inicia con el modelo de la sierra de cinta SHA-G5018WA. En base al diseño efectuado en la sección 7.1.1 se elabora un bosquejo 3D al cual se le aplica el perfil seleccionado y se le asigna un material. Para el sistema de transporte, en base al diseño de la sección 7.1.2 se dibuja la trayectoria

de la cadena y los eslabones con las dimensiones de la cadena escogida. Para el piñón se utiliza la herramienta Toolbox del software donde se crea el piñón en base al diámetro primitivo y el número de dientes que se necesita. Con los componentes dibujados se crea un subensamble con una relación mecánica de piñón cremallera. La carretilla es anclada a uno de los eslabones de la cadena. El ensamble final se ejecuta con los componentes y subensambles previamente dibujados.

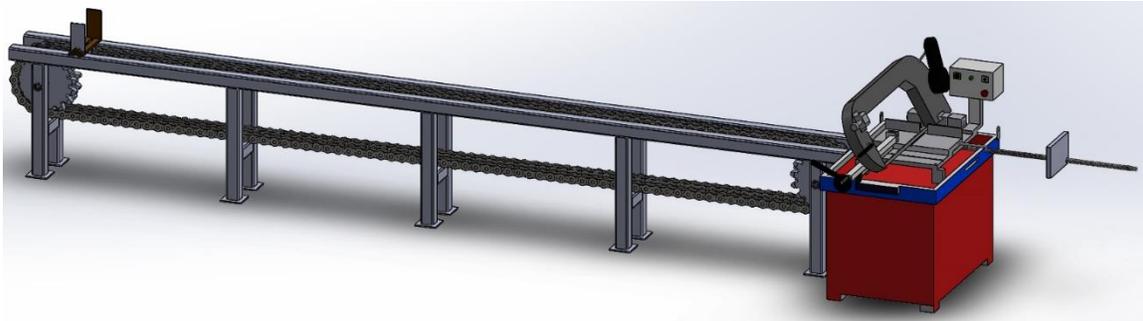


Figura 31. Diseño 3D.

## 7.2. DIMENSIONAMIENTO ELÉCTRICO

Es necesario determinar los elementos que se involucran en el funcionamiento de la máquina y la potencia requerida para los mismos. Entre los principales se considera la interfaz hombre-máquina (HMI), sensores y motores. La distribución de entradas y salidas se presenta en el diagrama de bloques de la Figura 32.

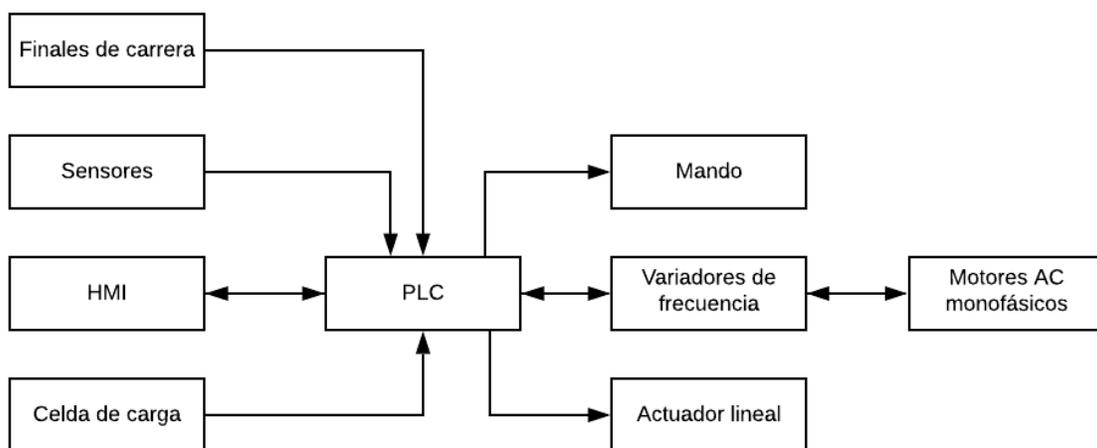


Figura 32. Diagrama de bloques de la máquina.

Para los diferentes módulos que intervienen en la máquina se analizan protecciones, alimentación y potencia requerida.

### 7.2.1. Control central PLC

De acuerdo a la información presentada en la Figura 32, el módulo de control central requiere 8 entradas digitales y 2 entradas analógica, así mismo son necesarias 2 salidas analógicas y 4 digitales para el funcionamiento de la máquina. El PLC SPARTAN, de la marca Arduino, se muestra en la Figura 33 cuenta con los requerimientos mencionados y sus características se detallan en la Tabla 12.



Figura 33. PLC SPARTAN [31]

Tabla 12. Características del PLC [31]

Característica	Descripción
Entradas	8 analógicas (0 - 10Vdc)
	8 digitales (5 - 24Vdc)
Salidas	8 analógicas (0 - 10Vdc)
	8 digitales/PWM Optoaisladas (5 - 24Vdc)
Comunicación	USB, Modbus (RTU) I2C, SPI
Potencia	30 W
Memoria	32KB
Procesamiento	16MHz
Alimentación	12 - 24Vdc
Tamaño [mm]	100x45x115
Protección recomendada	Protección contra inversiones de polaridad, fusible 2,5A

El PLC por lo tanto cumple con las condiciones requeridas para su funcionamiento, además, de contar con protecciones internas que garantizan su funcionamiento.

### 7.2.2. Entradas

La información que recibe el módulo de control para ser interpretada, analizada y procesada, en su mayor parte es digital. En el caso de la presencia de material se utilizan sensores que se muestra en la Figura 34. Estos sensores están adaptados a la carretilla y a la prensa de sujeción para el corte del material. Las características de los sensores seleccionados se muestran en la Tabla 13.



**Figura 34.** Sensor Capacitivo CBN5-F46-E2 [32]

**Tabla 13.** Características del sensor CBN5-F46-E2 [32]

Característica	Descripción
Voltaje de operación	10-30 VDC
Corriente de trabajo	100mA
Rango de detección	3,5-50mm
Salida	PNO (NA)
Frecuencia	0-10 Hz
Temperatura de trabajo	-25°C +70°C

Para las posiciones iniciales de la sierra se utilizan finales de carrera o microswitchs similares al que se observa en la Figura 35. De esta forma la sierra no puede comenzar su funcionamiento a menos que se encuentre en una posición que no

represente peligros para los trabajadores. Las características de los finales de carrera se presentan en la Tabla 14.



**Figura 35.** Final de carrera Z-15GW-B [33]

**Tabla 14.** Características de final de carrera Z-15GW-B [33]

Característica	Descripción
Corriente máxima	15A
Voltaje máximo	250Vdc
Voltaje de trabajo	5Vdc
Temperatura de trabajo	-25°C +80°C
Configuración de estado normal	NA/NC

La celda de carga que se muestra en la Figura 36 se utilizan para la sujeción del material tanto para el transporte como para el corte de este. La presión que las prensas ejercen sobre el material determina el movimiento de los motores de las mismas que permiten mayor o menor sujeción según corresponda. Las características de la celda de carga se presentan en la Tabla 15.



**Figura 36.** Celda de carga TEM01052B [34]

**Tabla 15.** Características de celda de carga TEM01052B [34]

<b>Característica</b>	<b>Descripción</b>
Voltaje de operación	1 - 10 Vdc
Sensibilidad de salida	$1.0 \pm 0.1\text{mv} / \text{v}$
Temperatura de trabajo	0°C - 50°C
Corriente del transmisor	10mA

La interfaz del usuario o HMI, que se presenta en la Figura 37, determina las condiciones ya sea de los datos frecuentes de la empresa o bien una nueva longitud determinada por el usuario. Las características del HMI seleccionado se presentan en la Tabla 16. La longitud es medida por un sensor que ubica el tope para realizar el corte.

**Figura 37.** HMI TouchBerry 7" [31]**Tabla 16.** Características de HMI TouchBerry 7"

<b>Característica</b>	<b>Descripción</b>
Tipo de pantalla	Color, 7"
Tipo de entrada	Touch
Alimentación	12 a 24 Vcc
Corriente	500mA
Tamaño [mm]	195x145x60
Comunicación	RS485-RS232-TTL-I2C-SPI

Para la comunicación con el PLC se utiliza SPI ya que este cuenta con una velocidad de transferencia de datos de 10MHz y previene los fallos y bloqueos debido a que la transmisión y recepción tienen lugar en diferentes pistas físicas.

### 7.2.3. Salidas

Las señales enviadas desde el controlador permiten el funcionamiento de la máquina. El mando representa una salida ON/OFF que activa el movimiento de la cinta para el proceso de corte.

Los variadores de frecuencia son elementos que permiten regular la velocidad de un motor eléctrico para que esta coincida con la requerida para el proceso y así utilizar solamente la energía necesaria. El variador LSIS H100 que se muestra en la Figura 38, cumple con las especificaciones necesarias para el motor monofásico determinado en la sección 7.1.2.5.



**Figura 38.** Variador de frecuencia LSIS H100 [35]

Mientras que el variador ESV152N02YXB que se muestra en la Figura 39, cumple con las especificaciones necesarias para el motor monofásico determinado en la sección 7.1.3.1.



**Figura 39.** Variador de frecuencia ESV152N02YXB [35]

Los actuadores lineales son elementos que transforman el movimiento circular de un motor en movimiento lineal, en este caso el tornillo de potencia seleccionado en la sección 7.1.3 y acoplado al motor definido en la sección 7.1.3.1, es aplicado para el movimiento lineal de la sierra para realizar el corte. Mientras que, para la sujeción del material es adecuado un motor eléctrico industrial para propósitos generales de 1/8HP en cada prensa.

#### **7.2.4. Fuente de alimentación**

De acuerdo a los elementos analizados en las secciones 7.2.2 y 7.2.3 se presenta en la Tabla 17 los consumos eléctricos de cada uno, para determinar la fuente de alimentación necesaria.

**Tabla 17.** Consumo eléctrico de componentes

<b>Componente</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Voltaje [V]</b>	<b>Corriente [A]</b>
PLC	1	12	2,5
HMI	1	12	0,5
Sensor capacitivo	4	12	0,1
Motor DC	3	12	2,2
Celda de carga	2	5	0,01
<i>Finales de carrera</i>	4	5	0,01

Debido a la posibilidad de picos de corriente que puedan causar daños en los elementos, se toma un factor de seguridad de 2 según la norma de instalaciones electromecánicas [15]. Por lo tanto, en la Tabla 18 se muestran los requisitos de las fuentes de alimentación para la máquina.

**Tabla 18.** Requisitos de fuentes de alimentación DC

<b>Voltaje [V]</b>	<b>Corriente [A]</b>	<b>Potencia [W]</b>
12	20	240
5	0,12	0,6

La fuente de alimentación de 12V, DRU30-12, mostrada en la Figura 40, de la marca Micron tiene una potencia de 360W. Se determina la protección en base a esta potencia mediante (28) teniendo en cuenta que la potencia de entrada debe ser la misma que la de salida. Finalmente, se calcula el valor pico de corriente mediante (29) el cual establece las características del fusible necesario para la protección.



**Figura 40.** Fuente de alimentación 12V. [33]

$$P_{out} = P_{in} = V_{in} * I_{in} * f_p \quad (28)$$

$$I_p = \sqrt{2} * I_{in} \quad (29)$$

Donde

$P_{out}$	Potencia de salida; en [W]
$P_{in}$	Potencia de entrada; en [W]
$V_{in}$	Voltaje de entrada RMS; en [V]
$I_{in}$	Corriente de entrada RMS; en [A]
$f_p$	Factor de potencia; adimensional
$I_p$	Corriente pico de la fuente; en [A]

Se obtienen los siguientes valores

$$360 = 110 * I_{in} * 1$$

$$\frac{360}{110} = I_{in}$$

$$I_{in} = 3,27 A$$

$$I_p = \sqrt{2} * 3,27$$

$$I_p = 4,62 A$$

Se determina por lo tanto que es necesario un fusible de 5A a 125V con su respectivo portafusibles para riel DIN como se muestra en la Figura 41.



**Figura 41.** Fusible y portafusibles para riel DIN [36]

La fuente de 5V, DR-15-5, de la marca Mean Well, mostrada en la Figura 42 tiene una potencia de 12W.



**Figura 42.** Fuente de alimentación 5V [36]

Mediante (25) y (26) se determina el fusible que se debe utilizar para la protección de la misma, obteniendo los siguientes valores

$$12 = 110 * I_{in} * 1$$

$$\frac{12}{110} = I_{in}$$

$$I_{in} = 0,11A$$

$$I_p = \sqrt{2} * 0,11$$

$$I_p = 0,15 A$$

Para la Fuente DR-15-5 es necesario un fusible de 2A a 125V con su respectivo portafusibles para riel DIN.

Las fichas técnicas de los elementos mencionados en la sección 7.2 se detallan en el anexo B.

### 7.2.5. Conectores

De acuerdo a los valores presentados en la Tabla 17 se determina el calibre AWG de los cables a utilizar según la Figura 43.

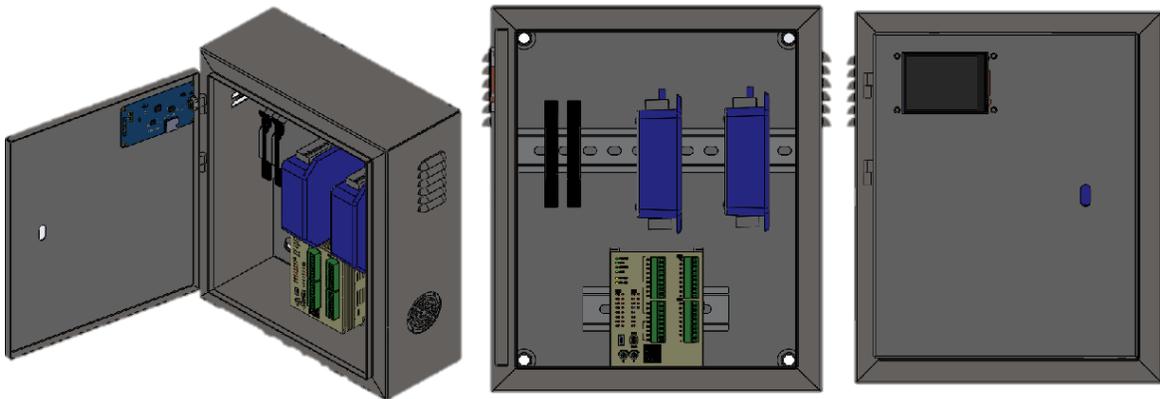
AWG	Dia mm	SWG	Dia mm	Max Amps	Ohms / 100 m
11	2.30	13	2.34	12	0.47
12	2.05	14	2.03	9.3	0.67
13	1.83	15	1.83	7.4	0.85
14	1.63	16	1.63	5.9	1.07
15	1.45	17	1.42	4.7	1.35
16	1.29	18	1.219	3.7	1.48
18	1.024	19	1.016	2.3	2.04
19	0.912	20	0.914	1.8	2.6
20	0.812	21	0.813	1.5	3.5
21	0.723	22	0.711	1.2	4.3
22	0.644	23	0.610	0.92	5.6
23	0.573	24	0.559	0.729	7.0
24	0.511	25	0.508	0.577	8.7
25	0.455	26	0.457	0.457	10.5
26	0.405	27	0.417	0.361	13.0
27	0.361	28	0.376	0.288	15.5
28	0.321	30	0.315	0.226	22.1
29	0.286	32	0.274	0.182	29.2
30	0.255	33	0.254	0.142	34.7
31	0.226	34	0.234	0.113	40.2
32	0.203	36	0.193	0.091	58.9
33	0.180	37	0.173	0.072	76.7
34	0.160	38	0.152	0.056	94.5
35	0.142	39	0.132	0.044	121.2

Figura 43. Calibre normalizado para conectores. [15]

Por lo tanto, para el módulo de 12V se necesita un calibre 19 mientras que para 5V se utiliza un calibre 22.

### 7.2.6. Tablero Eléctrico

Para finalizar se presenta en la Figura 44 un esquema del tablero (realizado en el software SolidWorks 2019) con los componentes seleccionados previamente, en donde los mismos se ubican en un riel DIN anclada a la pared interna del tablero.



**Figura 44.** Esquema de tablero eléctrico.

La distribución de los elementos puede variar si el encargado de la empresa lo considera necesario

### 7.3. ALGORITMO DE PROGRAMACIÓN

Al iniciar el funcionamiento de la máquina se debe seleccionar o ingresar la longitud deseada de corte para ejecutar la rutina principal del proceso como se muestra en la Figura 45. Posteriormente se inician las subrutinas que verifican existencia de material, seguridad, condiciones iniciales, medición, movimiento y corte, dependiendo de que se cumplan las condiciones de las mismas se regresa a los puntos señalados numericamente. Los diagramas que representan estos algoritmos se presentan en el anexo C

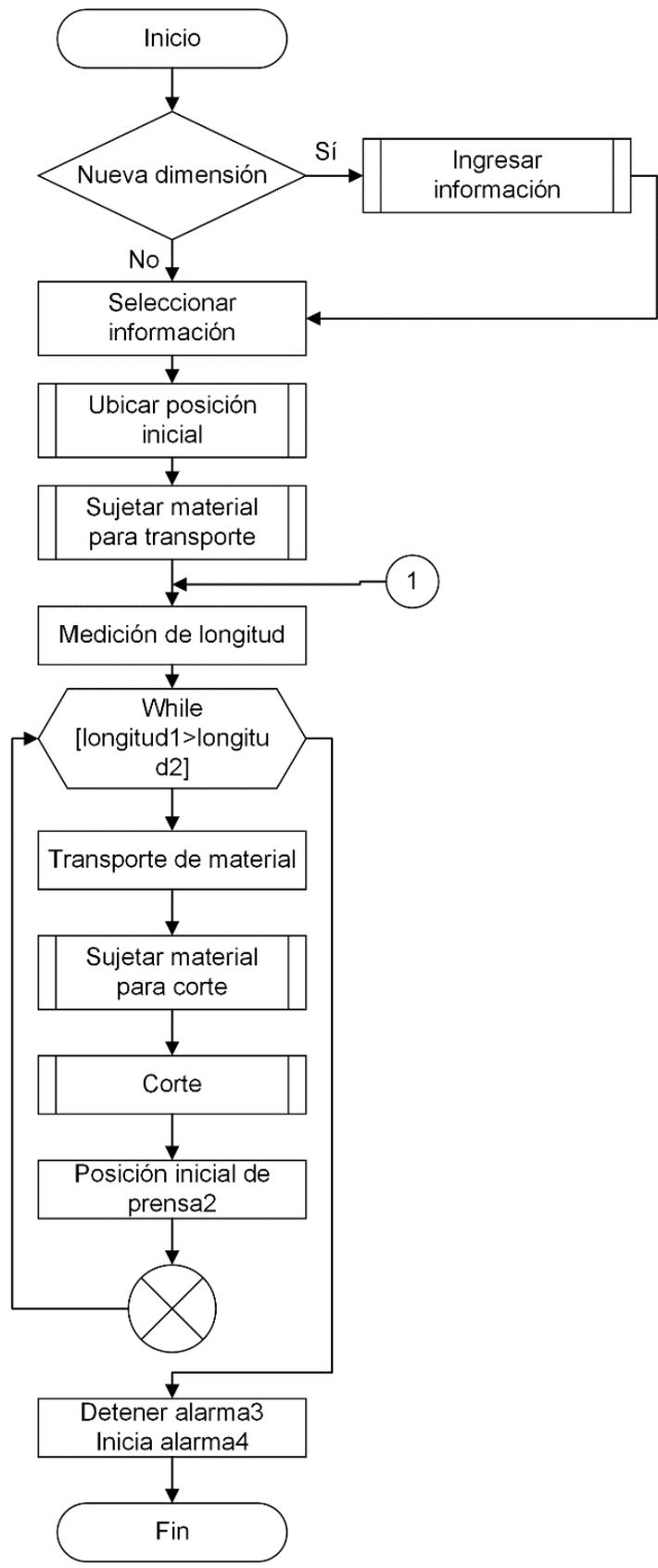
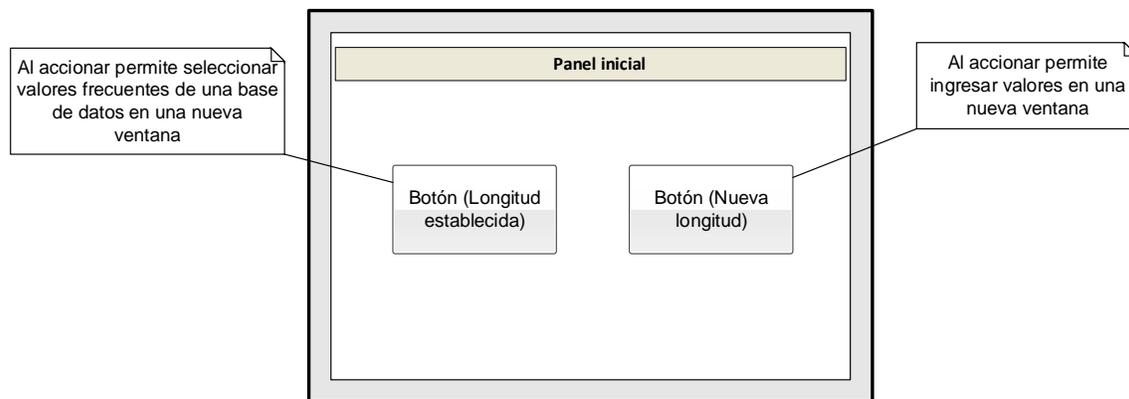


Figura 45. Algoritmo general de programación

## 7.4. DISEÑO DE INTERFAZ

De acuerdo a la información entregada por la empresa, el material de trabajo es constante en más del 80% de la producción, de la misma manera se prefiere mantener una velocidad elevada y constante para el corte a pesar de que en casos particulares esto pueda representar un daño en la cinta, la empresa realiza el cambio de la misma de ser necesario al ser este un costo mínimo. Debido a estas especificaciones se descarta de la presente sección el análisis de velocidad y tipo de material.

Según la norma ISA 101 [37] en una HMI se debe mostrar al usuario varias ventanas en jerarquía que permita reconocer prioridades y responsabilidades en el proceso. Además, se debe presentar información del proceso, avisos y alarmas. Parte importante del desarrollo de una HMI es la facilidad de navegación sobre el panel. Por lo tanto, este debe ser intuitivo e incluir símbolos o gráficos. En la Figura 46 se muestra un esquema del panel principal.



**Figura 46.** Pantalla principal

Dependiendo la selección que se realice para el manejo de los valores necesarios se despliega la ventana mostrada en la Figura 47. En caso de ser un valor nuevo, este valor se lo puede almacenar en la base de datos o utilizar una sola vez si se trata de un pedido especial o prototipo de nuevo producto.

**Figura 47.** Ingreso de nuevo valor

En caso de seleccionar un valor existente se despliega la ventana que se muestra en la Figura 48 en la cual se discrimina la información por categorías para facilitar la selección de valores, así mismo estos se pueden modificar o eliminar de ser necesario.

**Figura 48.** Selección de valores almacenados

En el caso de agregar, eliminar o modificar información se requiere ingresar una contraseña para que se accionen los botones respectivos para estas operaciones, esta contraseña será únicamente manejada por la gerencia. Cuando se cumplen las condiciones para que el proceso pueda iniciar, se despliega una ventana que muestra el estado de los elementos que intervienen en la máquina. Esta interfaz que es mostrada en la Figura 49, presenta también alarmas o mensajes necesarios durante el proceso.

Control del proceso		
Final de carrera carretilla	<input checked="" type="radio"/>	Longitud de material
Final de carrera sierra	<input checked="" type="radio"/>	Longitud medida
Final de carreta prensa 1	<input checked="" type="radio"/>	
Final de carrera prensa 2	<input checked="" type="radio"/>	Actuador 1 <input checked="" type="radio"/>
Detección de material para transporte	<input checked="" type="radio"/>	Actuador 2 <input checked="" type="radio"/>
Detección de material para corte	<input checked="" type="radio"/>	
Celda 1	<input checked="" type="radio"/>	Temporizador
Celda 2	<input checked="" type="radio"/>	
		Botón (Imagen)
		Botón (Regresar)

**Figura 49.** Control del proceso

Tal como se presenta la Figura 49 las condiciones son satisfactorias para iniciar el proceso, en caso de que alguna variable no cumpla la condición, esta no marcará su recuadro activando a su vez una alarma sonora.

## 8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se realizó el diseño mecánico, eléctrico y de control para la automatización de una sierra de cinta SHA-G5018WA en la empresa Produvari Industrial. Con la implementación de este diseño se espera una disminución del 70% en el tiempo de producción.
- Se realizó un resumen en base a la investigación de procesos industriales de corte de tubos y sierras de cinta comerciales. Esto sirvió como base para la selección de del método de automatización a aplicarse.
- Se definen las etapas del sistema de corte de tubos en la empresa y los riesgos potenciales en cada una, lo cual permite determinar las etapas a automatizar y los componentes necesarios en cada una.
- Se realizó el diseño en base a un peso crítico del material a cortar para incrementar la rigidez del equipo. Esto permite cubrir todas las condiciones de trabajo de la empresa.
- Se diseñó un control ON/OFF para la automatización debido a las características del equipo para garantizar la seguridad (posiciones iniciales), la instrumentación (sensores capacitivos, finales de carrera) y el procesamiento de señales mediante un PLC. Lo cual permite mantener un control y seguridad ya que si no cumple todas las restricciones el equipo no entra en funcionamiento.
- Se recolectaron los datos de la empresa con los tiempos de corte para diferentes dimensiones y cantidades de tubos permitiendo conocer el comportamiento del proceso.
- Se realizó el diseño del HMI de forma que permita seleccionar entre valores preexistentes de longitud de tubos e ingresar valores nuevos para uso recurrente o un corte único, permitiendo a la empresa manejar una base de productos y agilizar el proceso.
- La automatización de la sierra de cinta representa un cambio de un proceso manual a un proceso semiautomático donde la presencia del operario es requerida solo para la colocación del material

- La producción de la empresa incrementa no solo al disminuir algunos tiempos en el proceso, sino también al liberar un operario para realizar otras actividades de importancia
- El manejo de un equipo semiautomático requiere que la empresa capacite a sus operadores en cuanto al funcionamiento del mismo
- Se recomienda realizar mantenimiento preventivo en el mecanismo piñón cremallera a fin de garantizar su correcto funcionamiento
- Se puede realizar un rediseño considerando el peso real de los tubos y un factor de seguridad de 2 con el fin de disminuir costos de construcción del sistema

## REFERENCIAS

- [1] Patentes, Oficina Española de, «Clasificación internacional de patentes,» Oficina Española de Patentes y Marcas, Madrid, 1999.
- [2] Q. S. T. y. E. C. SUAZA, «SIERRAS PARA CORTAR METALES,» 2014. [En línea]. Available:  
<http://sierramecanicaindustrial.blogspot.com/2014/03/tipos-de-sierras.html>.  
[Último acceso: 02 03 2020].
- [3] L. Eaton, «Tube and pipe cutting techniques; advantages and limitations,» *The Tube & Pipe Journal*, 2002.
- [4] MaquinariaindustrialdelGuayas, «MAQUINDUST,» Maquinaria industrial del Guayas Cia.Ltda, 2009. [En línea]. Available:  
<https://maquindust.com/PRODUCTOS.html>. [Último acceso: 07 01 2020].
- [5] P. A. R. Rojas, «Movimiento de Materiales: Sistemas de Transporte para Agilizar Procesos,» *M&M*, vol. 71, 2011.
- [6] S. P. Estefanny, «Carpintería Metálica,» Universidad privada del Norte, Trujillo, 2016.
- [7] C. C. Rosario, «gerdau corsa,» 11 10 2013. [En línea]. Available:  
<https://www.gerdau.com/gerdaucorsa/es/productsservices/products/Document%20Gallery/eleccion-tipo-de-acero.pdf>. [Último acceso: 14 01 2020].
- [8] INEN, «Manejo Manual de Cargas,» 13 12 2013. [En línea]. Available:  
[https://181.112.149.204/buzon/normas/nte\\_inen\\_iso\\_11228-2.pdf](https://181.112.149.204/buzon/normas/nte_inen_iso_11228-2.pdf). [Último acceso: 07 01 2020].
- [9] Metro, «la estatura promedio de los ecuatorianos,» *Metro Ecuador* , 25 10 2017.

- [10] D. A. Valencia, «NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCION,» Dirección de Comunicación Social, MIDUVI, Guayaquil, 2014.
- [11] R. Portillo, «ACADEMIA,» [En línea]. Available: [https://www.academia.edu/27381846/ESTRUCTURAS\\_METALICAS\\_Tema\\_NORMA\\_ASTM](https://www.academia.edu/27381846/ESTRUCTURAS_METALICAS_Tema_NORMA_ASTM). [Último acceso: 09 01 2020].
- [12] N. E. M. Association, «Degrees of Protection Provided by Enclosures (IP Code)(identical national adoption),» 03 11 2004. [En línea]. Available: <https://www.nema.org/Standards/ComplimentaryDocuments/ANSI-IEC-60529.pdf>. [Último acceso: 09 01 2020].
- [13] N. E. M. Association, «NEMA 250,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.nema.org/Standards/ComplimentaryDocuments/NEMA%20250-2018%20Contents%20and%20Scope.pdf>. [Último acceso: 09 01 2020].
- [14] U. L. Inc., «law.resource,» 19 10 1995. [En línea]. Available: <https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/006/ul.50.1995.pdf>. [Último acceso: 09 01 2020].
- [15] C. e. d. l. n. ecuatoriana, «NEC-11 Instalaciones Electromecánicas,» MIDUVI, Quito, 2011.
- [16] R. L. Mott, Resistencia de Materiales, vol. 3, Buenos Aires: Pearson Educación, 2009, p. 643.
- [17] I. ACEROS, «IMPORT ACEROS,» OFFSETEC S.A., 2019. [En línea]. Available: <https://www.importaceros.com/tuberias#TuberiaMecanicaEstructural>. [Último acceso: 21 01 2020].
- [18] R. G. Budynas, Diseño en ingeniería Mecánica de Shigley, 8va ed., México: McGRAW-HILL, 2008.
- [19] A.R.ODETTO, «CADENAS».

- [20] D. Villegas, «DISEÑO DE UN TRANSPORTADOR DE RASTRA PARA BAGAZO DE CAÑA DE AZUCAR EN UN PROYECTO DE COGENERACION,» ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL , Guayaquil, 2008.
- [21] R. L. Mott, Diseño de Elementos de Máquinas, 4ta ed., México: Pearson, 2007, p. 872.
- [22] Graupe, S.A., «Joresa,» 2019. [En línea]. Available: <https://irp-cdn.multiscreensite.com/81612fc9/files/uploaded/Catalogo%20Cadenas%20Joresa%202010.pdf>. [Último acceso: 23 05 2020].
- [23] Renold , «Designer Guide,» *Renold Conveyor Chain Catalogue*, p. 109, 2014.
- [24] Advanced Material Handling Ltd., «AMH,» 2017. [En línea]. Available: <http://advancedmaterial.ca/brochures/>. [Último acceso: 24 05 2020].
- [25] H. Appold, TECNOLOGIA DE LOS METALES PARA PROFESIONES TECNICO MECANICAS, Barcelona : Reverte, 1984.
- [26] SKF, «Guía de valores requeridos de vida nominal L10h para diferentes clases de máquinas,» SKF, 2015.
- [27] FAG1999, «Ingeniería Mecanica,» 2000. [En línea]. Available: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/objetos/figutut214/FAG.pdf>. [Último acceso: 12 03 2020].
- [28] I. Bohman, «IBCA,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.ivanbohman.com.ec/wp-content/uploads/2019/12/catalogo-2020-v2.pdf>. [Último acceso: 30 01 2020].
- [29] L. TENGZHOU TRI-UNION MACHINERY CO., «TTMC,» TENGZHOU TRI-UNION MACHINERY CO.,LTD, 2008. [En línea]. Available: <https://www.ttmc.cn/bs-115a/>. [Último acceso: 17 03 2020].

- [30] UNIMEC, «sytrans,» 08 2009. [En línea]. Available: <http://www.sytrans.es/docs/cms/documento-1-1349110962.pdf>. [Último acceso: 21 03 2020].
- [31] INDUSTRIAL SHIELDS, «Soluciones de Automatización,» INDUSTRIAL SHIELDS, 06 04 2020. [En línea]. Available: <https://www.industrialshields.com/web/content?model=ir.attachment&field=datas&id=168105&>. [Último acceso: 22 04 2020].
- [32] Sensorteca SA, «SENSORTECA,» 2013. [En línea]. Available: <http://www.sensortecsa.com.ec/pepperl2.html>. [Último acceso: 2020 04 25].
- [33] Amidata S.A.U., «RS,» Omron, 28 12 2007. [En línea]. Available: <https://es.rs-online.com/web/p/interruptores-final-de-carrera/7768517/>. [Último acceso: 2020 04 25].
- [34] Silicio MX, «Silicio.mx,» 2018. [En línea]. Available: <https://silicio.mx/sensor-de-carga>. [Último acceso: 2020 04 25].
- [35] Marshall Wolf Automation, Inc., «Wolfautomation,» Marshall Wolf Automation, 2018. [En línea]. Available: <https://www.wolfautomation.com/ac-drive-380-500vac-3phase-150hp-223a-1/>. [Último acceso: 25 04 2020].
- [36] Mean Well, «MWWEB,» Mean Well Web, 2013. [En línea]. Available: <https://www.meanwell-web.com/en-gb/ac-dc-industrial-din-rail-power-supply-output-5vdc-dr--15--5>. [Último acceso: 26 04 2020].
- [37] M. W. y. G. Lehmann, «ISA101, Human-Machine Interfaces,» The International Society of Automation, Carolina del Norte, 2019.