

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE CUENCA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

*Trabajo de titulación previo  
a la obtención del título de  
Ingeniero Mecatrónico*

**PROYECTO TÉCNICO:**

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE ALIMENTACIÓN  
AUTOMÁTICO EN UNA PRENSA EXCÉNTRICA  
PARA REDUCCIÓN DE TIEMPOS EN LA LÍNEA  
DE PRODUCCIÓN DE LA EMPRESA INDURAMA”**

**AUTOR:**

DANIEL MATEO ILLESCAS VALDIVIESO

**TUTOR:**

ING. MARCO ESTEBAN AMAYA PINOS, MSc.

**CO-TUTOR:**

ING. ÁNGEL EUGENIO CÁRDENAS CADME, MSc.

CUENCA – ECUADOR

2021

# CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Daniel Mateo Illescas Valdivieso con documento de identificación N° 0107292476, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación: “**DISEÑO DE UN SISTEMA DE ALIMENTACIÓN AUTOMÁTICO EN UNA PRENSA EXCÉNTRICA PARA REDUCCIÓN DE TIEMPOS EN LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE LA EMPRESA INDURAMA**”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: *Ingeniero Mecatrónico*, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, octubre del 2021.



---

Daniel Mateo Illescas Valdivieso

C.I: 0107292476

# CERTIFICACIÓN

Yo, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: “**DISEÑO DE UN SISTEMA DE ALIMENTACIÓN AUTOMÁTICO EN UNA PRENSA EXCÉNTRICA PARA REDUCCIÓN DE TIEMPOS EN LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE LA EMPRESA INDURAMA**”, realizado por Daniel Mateo Illescas Valdivieso, obteniendo el *Proyecto Técnico*, que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, octubre del 2021.



---

Ing. Marco Esteban Amaya Pinos

C.I: 0102263480

# DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Yo, Daniel Mateo Illescas Valdivieso con documento de identificación N° 0107292476 , autor del trabajo de titulación: **“DISEÑO DE UN SISTEMA DE ALIMENTACIÓN AUTOMÁTICO EN UNA PRENSA EXCÉNTRICA PARA REDUCCIÓN DE TIEMPOS EN LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE LA EMPRESA INDURAMA”**, certifico que el total contenido del *Proyecto Técnico*, es de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, octubre del 2021.



---

Daniel Mateo Illescas Valdivieso

C.I: 0107292476

## Dedicatoria

Este trabajo va dedicado a Dios por ser luz, guía y sabiduría en mi vida, a mi familia y de manera especial a mis padres que son quienes me han apoyado de manera incondicional a lo largo de este proceso. Sin ellos nada de esto sería posible.

Daniel Mateo Illescas Valdivieso

## Agradecimientos

De manera especial, quiero agradecer a mis padres que han sido quienes me permitieron estudiar y apoyar de manera incondicional durante todo este tiempo.

Quiero agradecer a mis hermanas, abuelos, tíos y primos que han sido alegría y fuerza para seguir adelante.

A mi tío Esteban por su ejemplo, apoyo incondicional y consejos que me han servido para tomar decisiones inteligentes.

A mi primo Felipe y tío Paul por sus enseñanzas e inspirarme a estudiar Mecatrónica.

A mi mejor amigo, Francisco Durán por su amistad incondicional, paciencia y anécdotas a lo largo de estos años.

A Cinthya, por su paciencia, sabiduría y apoyo incondicional a lo largo de estos años.

A mis amigos del grupo Manolas que se volvieron una familia en todo este tiempo.

Un agradecimiento especial a mis tutores de tesis, Marco y Eugenio por su paciencia, sabiduría y guía que han sido durante este proceso.

Finalmente, agradecer a todos aquellos profesores, familiares y amigos que han puesto de su parte en este camino haciendolo más llevadero y grato.

## Resumen

El proyecto técnico que se presenta a continuación pretende dar solución a un problema específico dentro de una de las líneas de producción de la empresa de línea blanca Indurama. El proceso está fundamentado en el corte de chapa metálica utilizando matrices de corte, para lo cual se utilizan prensas mecánicas, en donde la alimentación de la lámina de metal se realiza de manera manual.

El trabajo en primer lugar determina las condiciones iniciales del proceso en función de una revisión bibliográfica y requerimientos de la empresa, posteriormente se realiza una caracterización de los diferentes sistemas que se intervienen en el proceso de alimentación de chapa metálica para determinar la opción más adecuada dentro del proceso de conformado de piezas.

Una vez establecidos los parámetros y condiciones iniciales, se procede con el diseño de la máquina, la cual está conformada por el soporte estructural, la carcasa, los rodillos guía, el subsistema de presión para chapa metálica, el subsistema de transmisión y por último la descripción del sistema de control.

Posteriormente, se realiza el cálculo para la verificación de los diseños planteados, de tal modo que se garantice un sistema óptimo con las características de funcionamiento adecuadas.

Finalmente, se presenta un análisis de costos por medio de precios unitarios donde se muestra el precio de cada uno de los rubros que conforman el equipo, considerando materiales, equipos y mano de obra.

# Índice

Cesión de Derechos de Autor	I
Certificación	II
Declaratoria de Responsabilidad	III
Dedicatoria	IV
Agradecimientos	IV
Resumen	V
<b>1. Introducción.</b>	<b>1</b>
<b>2. Problema.</b>	<b>2</b>
2.1. Antecedentes . . . . .	2
2.2. Importancia y alcances . . . . .	2
2.3. Delimitación . . . . .	2
2.4. Problema General. . . . .	5
2.5. Problemas Específicos. . . . .	5
<b>3. Objetivos.</b>	<b>5</b>
3.1. Objetivo General. . . . .	5
3.2. Objetivos Específicos. . . . .	5
<b>4. Matriz de Consistencia Lógica</b>	<b>6</b>
<b>5. Marco Teórico.</b>	<b>8</b>
5.1. Diseño en ingeniería . . . . .	8
5.2. Diseño Mecánico . . . . .	8
5.2.1. Bandas de sincronización . . . . .	9
5.3. Sistema de Control . . . . .	10
5.3.1. Neumático . . . . .	10
5.3.2. Servomotor . . . . .	11
5.3.3. Diseño de control . . . . .	11
5.3.4. Controlador PID . . . . .	12

5.3.5.	Control realimentado . . . . .	13
5.3.6.	Opciones de control de alimentación . . . . .	13
5.4.	Neumática . . . . .	15
5.4.1.	Actuadores Lineales . . . . .	15
5.4.2.	Detectores de señal . . . . .	16
5.5.	Concepto básico de un alimentador para prensa excéntrica . . . . .	16
5.5.1.	Funcionamiento . . . . .	16
5.5.2.	Sistemas de avance para chapa metálica . . . . .	17
5.6.	Consideraciones para el sistema de alimentación para prensa. . . . .	18
5.7.	Alimentadores de chapa metálica para prensa . . . . .	20
5.8.	Tipos de avance en sistemas de alimentación . . . . .	21
5.8.1.	Avance manual . . . . .	21
5.8.2.	Avance semiautomático . . . . .	22
5.8.3.	Avance automático . . . . .	22
5.9.	Sistema automático de alimentación para prensa mecánica . . . . .	23
<b>6.</b>	<b>Hipótesis</b>	<b>23</b>
6.1.	Hipótesis general . . . . .	23
6.2.	Hipótesis específicas . . . . .	23
<b>7.</b>	<b>Marco Metodológico.</b>	<b>24</b>
7.1.	Definición de variables que intervienen en el proceso de alimentación de una prensa excéntrica . . . . .	24
7.1.1.	Determinación de variables . . . . .	24
7.1.2.	Alternativas para el diseño del sistema . . . . .	25
7.1.3.	Selección del motor . . . . .	28
7.1.4.	Determinación del sistema de transmisión . . . . .	28
7.2.	Diseño mecánico del sistema de alimentación para prensa excéntrica . . . . .	28
7.2.1.	Diseño de la estructura para el soporte del sistema . . . . .	29
7.2.2.	Diseño de la carcasa del sistema . . . . .	29
7.2.3.	Diseño de rodillos guía para la chapa metálica . . . . .	30
7.2.4.	Diseño del sistema de presión para chapa metálica . . . . .	31
7.2.5.	Diseño del sistema de transmisión . . . . .	32
7.2.6.	Selección de materiales . . . . .	33
7.3.	Cálculo de componentes mecánicos . . . . .	34



7.4. Análisis por elementos finitos . . . . .	37
7.5. Resultados de diseño mecánico . . . . .	38
7.6. Diseño del sistema de control . . . . .	39
7.6.1. Diseño del esquema de conexión eléctrica . . . . .	45
<b>8. Análisis de costos de fabricación.</b>	<b>46</b>
<b>9. Conclusiones.</b>	<b>48</b>
<b>10.Recomendaciones.</b>	<b>50</b>
<b>Referencias</b>	<b>52</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>53</b>

## Lista de Tablas

1.	Cronograma de actividades. . . . .	4
2.	Matriz de consistencia. . . . .	7
3.	Tabla comparativa de opciones de arrastre. . . . .	19
4.	Tabla comparativa tipos de control. . . . .	20
5.	Definición de variables para el diseño de un sistema de alimentación para prensa excéntrica. . . . .	24
6.	Tabla de ponderación de variables. . . . .	27
7.	Características servomotor Kinco. . . . .	28
8.	Materiales de construcción para el sistema de alimentación automático. . . .	34
9.	Presupuesto de recursos materiales. . . . .	47
10.	Costo de la mano de obra para el proyecto. . . . .	48
11.	Costo total del sistema. . . . .	48

## Lista de Figuras

1.	Croquis de la ubicación de la empresa. . . . .	3
2.	Fases del proceso de diseño que reconocen múltiples realimentaciones e iteraciones. . . . .	9
3.	Transmisión por bandas de sincronización que muestra partes de la polea y banda. . . . .	10
4.	Proceso de diseño de un sistema de control. . . . .	12
5.	Sistema de alimentación por rodillos servocontrolados. . . . .	14
6.	Sistema de alimentación por pinzas autosuficientes. . . . .	15
7.	Cilindro simple. . . . .	16
8.	Sistema de alimentación por pinzas. . . . .	18
9.	Alimentador de pinzas. . . . .	20
10.	Alimentador de rodillos. . . . .	21
11.	Propuesta 01 del sistema de alimentación por medio de pinzas. . . . .	25
12.	Propuesta 02 del sistema de alimentación por medio de ventosas. . . . .	26
13.	Propuesta 03 del sistema de alimentación por medio de rodillos. . . . .	26
14.	Dimensionamiento de la estructura para soporte del sistema. . . . .	29
15.	Carcasa del sistema. . . . .	30
16.	Vista superior de los rodillos guía. . . . .	30
17.	Vista en perspectiva de los rodillos guía. . . . .	31
18.	Sistema de presión por rodillos para chapa metálica. . . . .	31
19.	Sistema de transmisión de movimiento por poleas. . . . .	32
20.	Vista en perspectiva del sistema de transmisión de movimiento por poleas. . . . .	33
21.	Diagrama de cuerpo libre del sistema de alimentación para prensa excéntrica. . . . .	35
22.	Diagrama de cuerpo libre de los rodamientos ubicados en el rodillo servo controlado. . . . .	36
23.	Deformación total del sistema. . . . .	37
24.	Esfuerzo total del sistema. . . . .	38
25.	Vista isométrica del sistema en 3D. . . . .	39
26.	Vista frontal del servo driver y sus componentes. . . . .	40
27.	Vista a detalle del servo driver y sus componentes. . . . .	41
28.	Tabla para el control por posición del servomotor. . . . .	42
29.	Diagrama de bloques de la planta. . . . .	44
30.	Diagrama de estado del servomotor. . . . .	45
31.	Esquema de conexión del sistema. . . . .	46

# 1. Introducción.

La matricería es una rama de la mecánica que estudia y desarrolla técnicas de fabricación de utillajes adecuados para obtener piezas en serie, generalmente de chapa metálica, además, son llamados procedimientos de matricería aquellos procesos de corte o deformación de chapa metálica sin arranque de viruta y que se llevan a cabo mediante uno o varios utillajes comunmente llamados matrices o troqueles, estos procesos pueden ser realizados mediante el uso de prensas de cualquier tipo ya que estas permiten cortar formas irregulares a partir de grandes bobinas, una línea de alimentación, una prensa de corte y un apilador (Schmid, 2014). Una de las empresas que emplea estos procesos para la obtención de piezas en serie para sus productos es la empresa INDURAMA, que cuenta con líneas de producción de distintos tipos de electrodomésticos y que utiliza técnicas mencionadas previamente para la obtención de piezas que forman parte de estos, sin embargo los procesos actuales no poseen condiciones óptimas de funcionamiento ni un aprovechamiento de recursos en su totalidad, lo que representa un costo alto de operación.

El presente trabajo se centra en el diseño de un sistema automático de alimentación para prensa excéntrica con condiciones adecuadas de trabajo generando un ahorro y aprovechamiento de recursos, los cuales pueden ser destinados a la mejora de otros aspectos en la línea de producción.

Dentro del presente trabajo de titulación se realizará el diseño de un sistema de alimentación automático, para lo cual se empezará por establecer condiciones iniciales del mismo y variables que se manejarán, aquí se tomarán en cuenta los requisitos y requerimientos solicitados por parte de la empresa así también como criterios y condiciones del diseño ingenieril que serán fundamentados en el estado del arte y avances tecnológicos actuales; posteriormente se realiza un modelo 3D del sistema considerando aspectos constructivos para luego implementar un sistema de control para su funcionamiento, finalmente se desarrollará un análisis de costos de fabricación que determinen la factibilidad del diseño para la empresa.

## 2. Problema.

### 2.1. Antecedentes

La empresa de línea blanca “INDURAMA” dentro sus líneas de producción en serie cuenta con un proceso de matricería para el cual utiliza prensas mecánicas excéntricas, en donde la alimentación de la materia prima se realiza de manera manual por parte del operario, ocasionando así que el sistema sea poco eficiente referente al tiempo de alimentación de la materia prima en la matriz de conformado, esta situación descrita genera tiempos de producción considerables y además riesgos laborales al operario producto de realizar una alimentación manual de la lámina de metal.

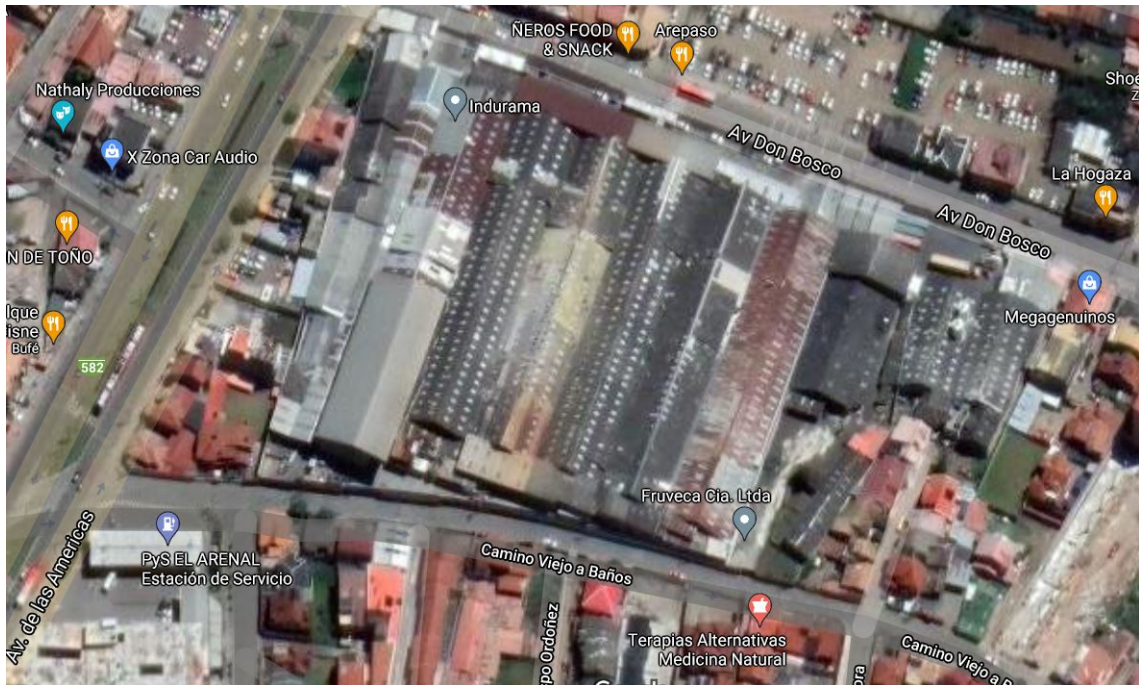
### 2.2. Importancia y alcances

Actualmente, el proceso de alimentación de prensa excéntrica existente en la empresa INDURAMA representa tiempos de producción relativamente altos debido a las condiciones de operación ineficientes bajo las que funciona, de este modo el diseño de un sistema de alimentación automático para la prensa excéntrica puede generar un ahorro y aprovechamiento de recursos, los mismos que pueden ser destinados a otros aspectos dentro de las líneas de producción de la empresa. Además se pretende que el impacto generado sea corregir las deficiencias de la estación de trabajo, derivando también en la línea de manufactura en general. Este aporte desencadena una serie de factores que se verán potencializados como el aprovechamiento de recursos (tiempo, economía, materiales) y seguridad. El dimensionamiento del sistema de alimentación para cubrir la necesidad de la empresa es posible, esto gracias a que se tiene acceso a toda la información necesaria para el proceso de diseño, es decir, se cuenta con datos de producción y variables bajo las cuales opera actualmente la prensa, estos servirán como material base para complementar información bibliográfica sobre los distintos sistemas de alimentación. Considerado lo mencionado anteriormente, el trabajo se centrará en el diseño de un sistema de alimentación automático para prensa excéntrica fundamentado en conceptos de diseño mecánico y teoría de control; con el objetivo de crear un sistema eficiente que garantice condiciones óptimas de operación.

### 2.3. Delimitación

- a.- **Delimitación Espacial:** el presente trabajo de titulación se realizó en la empresa “INDURAMA” que se encuentra en la provincia del Azuay, en la ciudad de Cuenca, en

las calles Av. Don Bosco y Av. de las Américas. A continuación en la figura 1 se indica el croquis de la ubicación de la empresa.



**Figura 1:** Croquis de la ubicación de la empresa.

**Fuente:** Google Maps.

b.- **Delimitación Temporal:** el trabajo de titulación se realizó en el año 2021, en un período aproximado de 6 meses siguiendo el cronograma de actividades presentado en la tabla 1:

**Tabla 1:** Cronograma de actividades.

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES A DESARROLLAR																					
Objetivo Especifico	Actividades a desarrollar																				
	MES 1			MES 2			MES 3			MES 4			MES 5			MES 6			HORAS		
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2		3	4
Establecer las condiciones iniciales en el diseño de un sistema de alimentación de una prensa excéntrica para reducir tiempos en la línea de producción de la empresa INDURAMA	X	X	X	X																	30
																					20
																					10
																					30
Proponer el diseño de un sistema de alimentación de una prensa excéntrica para reducir tiempos en la línea de producción de la empresa INDURAMA																					40
																					40
																					20
																					70
DURAMA																					40
Evaluar el diseño de un sistema de alimentación de una prensa excéntrica para reducir tiempos en la línea de producción de la empresa INDURAMA.																					20
																					30
																					30
																					10
TOTAL DE HORAS																					50
																					440

**Fuente:** Autor.

## **2.4. Problema General.**

- ¿Se puede diseñar un sistema de alimentación automático en una prensa excéntrica para reducir tiempos en la línea de producción de la empresa “INDURAMA”?

## **2.5. Problemas Específicos.**

- ¿Es posible establecer las condiciones iniciales en el diseño de un sistema de alimentación automático en una prensa excéntrica para reducir tiempos en la línea de producción de la empresa INDURAMA?
- ¿Se podrá proponer el diseño de un sistema de alimentación automático en una prensa excéntrica para reducir tiempos en la línea de producción de la empresa INDURAMA?
- ¿Es posible evaluar mediante simulación el diseño en un sistema de alimentación automático en una prensa excéntrica para reducir tiempos en la línea de producción de la empresa INDURAMA?
- ¿Se podrá realizar un análisis económico en el diseño de un sistema de alimentación automático en una prensa excéntrica para reducir tiempos en la línea de producción de la empresa INDURAMA?

## **3. Objetivos.**

### **3.1. Objetivo General.**

- Diseñar un sistema de alimentación automático en una prensa excéntrica para reducir tiempos en la línea de producción de la empresa INDURAMA.

### **3.2. Objetivos Específicos.**

- Establecer las condiciones iniciales en el diseño de un sistema de alimentación automático en una prensa excéntrica para reducir tiempos en la línea de producción de la empresa INDURAMA.
- Proponer el diseño de un sistema de alimentación automático en una prensa excéntrica para reducir tiempos en la línea de producción de la empresa INDURAMA.



- Evaluar mediante simulación el diseño en un sistema de alimentación automático en una prensa excéntrica para reducir tiempos en la línea de producción de la empresa INDURAMA.
- Realizar un análisis económico en el diseño de un sistema de alimentación de una prensa excéntrica para reducir tiempos en la línea de producción de la empresa INDURAMA.

#### **4. Matriz de Consistencia Lógica**

**Tabla 2:** Matriz de consistencia.

Matriz de consistencia.				
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLES	MARCO TEÓRICO
¿Se puede diseñar un sistema de alimentación automático en una prensa excéntrica para reducir tiempos en la línea de producción de la empresa INDURAMA?	Diseñar un sistema de alimentación automática en una prensa excéntrica para reducir tiempos en la línea de producción de la empresa INDURAMA.	Se diseñará un sistema de alimentación automática en una prensa excéntrica para reducir tiempos en la línea de producción de la empresa INDURAMA.	VI: Diseño VD:Tiempo	Diseño Mecánico Diseño de control Diseño Eléctrico
<b>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</b> ¿Es posible establecer las condiciones iniciales en el diseño de un sistema de alimentación automático en una prensa excéntrica para reducir tiempos en la línea de producción de la empresa INDURAMA?	<b>OBJETIVO ESPECÍFICOS</b> Establecer las condiciones iniciales en el diseño de un sistema de alimentación automático en una prensa excéntrica para reducir tiempos en la línea de producción de la empresa INDURAMA.	<b>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</b> Se establecerá las condiciones iniciales en el diseño de un sistema de alimentación automático en una prensa excéntrica para reducir tiempos en la línea de producción de la empresa INDURAMA.	VI: Diseño VD:Tiempo	Diseño Mecánico Diseño de control Diseño Eléctrico
¿Se podrá proponer el diseño de un sistema de alimentación automático en una prensa excéntrica para reducir tiempos en la línea de producción de la empresa INDURAMA?	Proponer el diseño de un sistema de alimentación automático en una prensa excéntrica para reducir tiempos en la línea de producción de la empresa INDURAMA.	Se propondrá el diseño de un sistema de alimentación automático en una prensa excéntrica para reducir tiempos en la línea de producción de la empresa INDURAMA.	VI: Diseño VD:Tiempo	Diseño Mecánico Diseño de control Diseño Eléctrico
¿Es posible evaluar mediante simulación el diseño en un sistema de alimentación automático en una prensa excéntrica para reducir tiempos en la línea de producción de la empresa INDURAMA?	Evaluar el mediante simulación el diseño en un sistema de alimentación automática en una prensa excéntrica para reducir tiempos en la línea de producción de la empresa INDURAMA.	Se evaluará mediante simulación el diseño en un sistema de alimentación automática en una prensa excéntrica para reducir tiempos en la línea de producción de la empresa INDURAMA.	VI: Diseño VD:Tiempo	Diseño Mecánico Diseño de control Diseño Eléctrico
¿Se podrá realizar un análisis económico en el diseño de un sistema de alimentación automático en una prensa excéntrica para reducir tiempos en la línea de producción de la empresa INDURAMA?	Realizar un análisis económico en el diseño de un sistema de alimentación automática en una prensa excéntrica para reducir tiempos en la línea de producción de la empresa INDURAMA.	Se realizará un análisis económico en el diseño de un sistema de alimentación automática en una prensa excéntrica para reducir tiempos en la línea de producción de la empresa INDURAMA.	VI: Diseño VD:Tiempo	Análisis económico

Fuente: Autor.

## 5. Marco Teórico.

### 5.1. Diseño en ingeniería

Según Dorf y Bishop (2005), diseño es un acto innovador donde el ingeniero de manera inteligente y creativa utiliza su conocimiento y materiales para especificar la forma, función y contenido material de un sistema. Los pasos del diseño son:

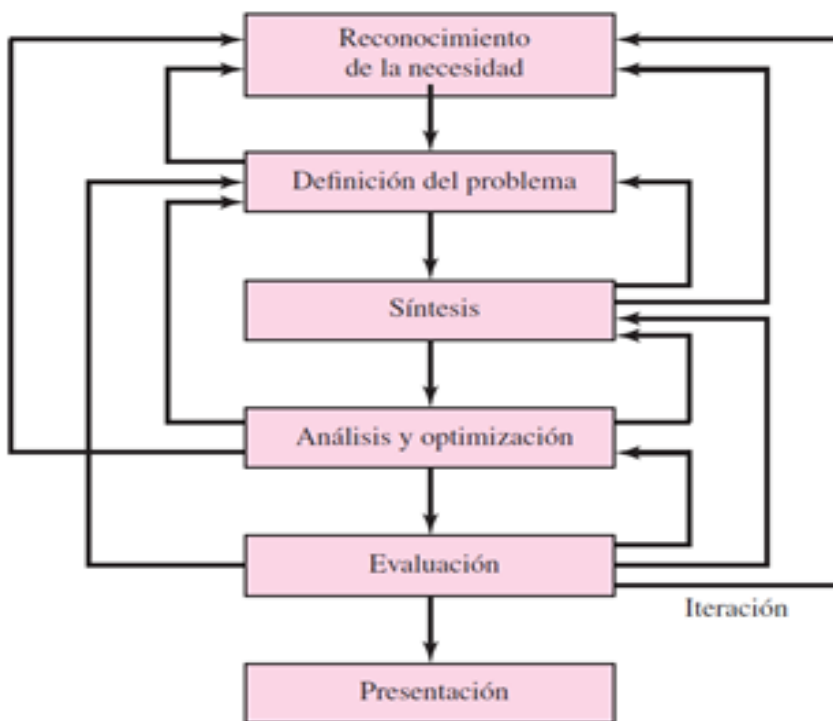
1. Determinar una necesidad que nace del deseo varios grupos tales como creadores y consumidores.
2. Especificar a detalle cual debe ser la solución a esa necesidad y dar forma a esos deseos.
3. Desarrollar y evaluar distintas soluciones y alternativas para satisfacer las necesidades.
4. Decidir cuáles de las soluciones debe ser diseñada a detalle y fabricada.

Un factor importante en un diseño realista es la limitación del tiempo, el diseño se da bajo planificaciones impuestas que eventualmente establecen un diseño que puede no ser el mejor pero es considerado “suficientemente bueno”. En muchas ocasiones, el tiempo es la única ventaja competitiva. Para un diseño se deben plantear las especificaciones como sentencias que explícitamente dicen lo que el dispositivo o producto es y hace, la complejidad del diseño resulta del amplio rango de herramientas, temas y conocimientos que hay que emplear en el proceso. (Dorf y Bishop, 2005)

### 5.2. Diseño Mecánico

Según Budynas y Nisbett (2012), el diseño mecánico es una tarea compleja que demanda el desarrollo de aptitudes para lograr una correcta secuenciación de actividades con el fin de garantizar ideas que permitan concebir un determinado producto. De manera global, el proceso comienza con un conjunto de ideas generales que mediante el diagrama de la figura 2 se refinan y se mejoran hasta obtener las características ideales del producto que se va a diseñar, cabe mencionar que es un proceso que se realiza de manera iterativa con el fin de garantizar lo antes mencionado.

Dentro de este proceso el diseñador se ve apoyado por una serie de herramientas que le permiten obtener fuentes de información, asistencia en el diseño por medio de software y validación de resultados mediante simulación; todo ello apegado a una serie de códigos y normas que garantizan seguridad, legalidad del producto y costos. (Budynas y Nisbett, 2012)



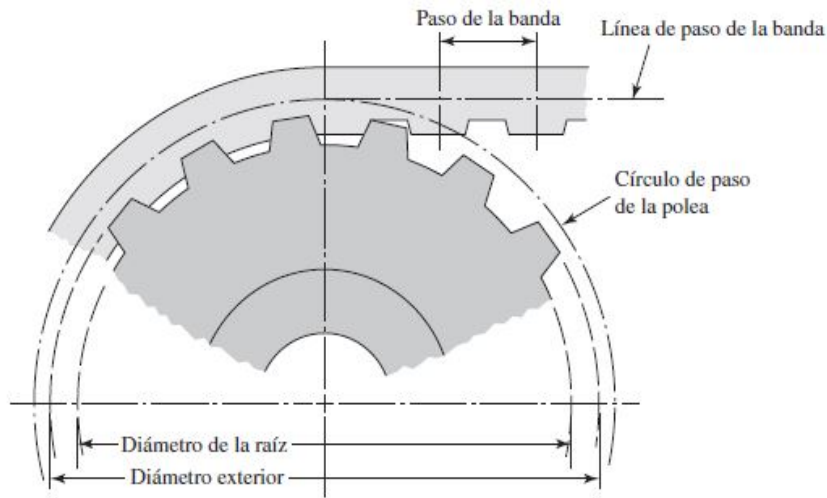
**Figura 2:** Fases del proceso de diseño que reconocen múltiples realimentaciones e iteraciones.

**Fuente:** Budynas y Nisbett (2012).

El diseño en ingeniería mecánica se dedica en gran medida al cálculo de transmisiones y elementos mecánicos. Aún cuando esta parte es de vital importancia, no deja de ser un paso dentro del proceso total de diseño. La integración del proceso mediante un método general permite tener una visión más exacta del diseño, integrar los conocimientos adquiridos y aplicar un método. Al diseñador le ofrece la oportunidad de salirse de la forma empírica, muchas veces utilizada, al emprender un problema de diseño, y seguir un procedimiento más confiable. (Pérez y Romero, 2017)

### 5.2.1. Bandas de sincronización

Una banda de sincronización está compuesta de un material elastómero recubierto con tela de nailon que internamente tiene un alambre de acero permitiéndole resistir cargas de tensión, se caracteriza por la presencia de dientes que entran en ranuras axiales formadas en la periferia de la polea, ver figura 3. (Budynas y Nisbett, 2012)



**Figura 3:** Transmisión por bandas de sincronización que muestra partes de la polea y banda.

**Fuente:** Budynas y Nisbett (2012).

Las características de estas bandas garantizan una velocidad angular constante a una potencia determinada ya que no se estiran ni se deslizan, trabajan en un intervalo de velocidades muy altas, sobrepasando eficiencias de un 97 %, adicionalmente, no requieren lubricación y son más silenciosas que las transmisiones de cadena. (Budynas y Nisbett, 2012)

### 5.3. Sistema de Control

El control de procesos dentro de la industria es de vital importancia, es por ello que desde los principios de la industria, dichos procesos se realizaban de manera intuitiva y mediante la experiencia que tenía el operario, con el paso del tiempo los sistemas poseían mayores exigencias, por lo que se empezaron a desarrollar teorías que expliquen el funcionamiento y dinámica del proceso mediante modelos analíticos, esto se lo realizó para obtener una mayor cantidad de control sobre las variables que se involucraban en el proceso. (Creus, 2010)

#### 5.3.1. Neumático

El control tradicional consiste en sincronizar mecánicamente el movimiento de la prensa con el del alimentador. Esto se ha llevado a cabo normalmente mediante un pulsador integrado en los alimentadores tradicionales cuyo accionamiento al bajar la prensa abre unas válvulas que

permiten que se produzca el movimiento de avance. Este tipo de control es lo suficientemente inconstante como para que la banda avance con una longitud de avance que puede variar. Es posible la utilización de elementos que ofrecen una respuesta más rápida a un estímulo como pueden ser electroválvulas conectadas a un micro interruptor acoplado a la prensa, pero aun así no hay un sistema de control externo que supervise el funcionamiento óptimo; se mejora en velocidad y tiempo de ciclo pero no se arregla el problema de la inconstancia. (Alarcón, 2019)

### **5.3.2. Servomotor**

Un servomotor es un motor con características especiales. La principal propiedad es que cuenta con un sistema de realimentación, el cual indica al controlador del servomotor la posición en la que se encuentra el servomotor y le corrija la posición, en caso de que no fuese la correcta. De este modo se pueden enmendar los errores de posición, y obtener una muy alta precisión. (Micro Automación, 2017)

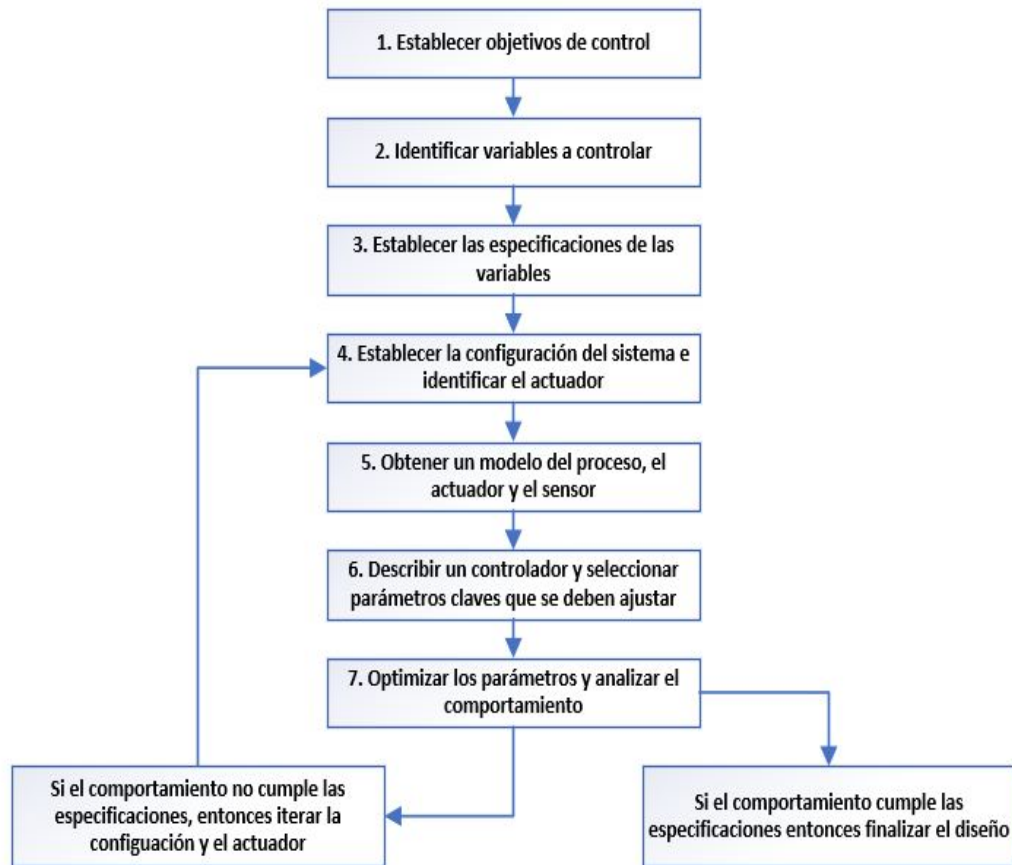
### **5.3.3. Diseño de control**

Según Golnaraghi y Kuo (2010), los ingredientes de un sistema de control están descritos por:

1. Objetivos de control.
2. Componentes del sistema de control.
3. Resultados o salidas.

El diseño de sistemas de control es un ejemplo específico de diseño de ingeniería, el objetivo del diseño en ingeniería de control es obtener una configuración, especificaciones e identificación de parámetros claves de un sistema propuesto para satisfacer una necesidad real. (Dorf y Bishop, 2005)

De acuerdo con Dorf y Bishop (2005), siendo un poco más específicos con el diseño de control, se establece un esquema de aspectos y pasos que se debe considerar y seguir para obtener un diseño de control que satisfaga una necesidad de manera correcta, el esquema es el siguiente:



**Figura 4:** Proceso de diseño de un sistema de control.

**Fuente:** Dorf y Bishop (2005).

#### 5.3.4. Controlador PID

Según Dorf y Bishop (2005), muchos procesos industriales se controlan utilizando controladores proporcionales-integrales-derivativos (PID). Estos controladores son populares ya que se les atribuye un buen comportamiento en un amplio intervalo de condiciones de operación y también gracias a su sencillez funcional, para implementar este controlador se deben determinar tres parámetros:

1. Ganancia proporcional.
2. Ganancia integral.
3. Ganancia derivativa.

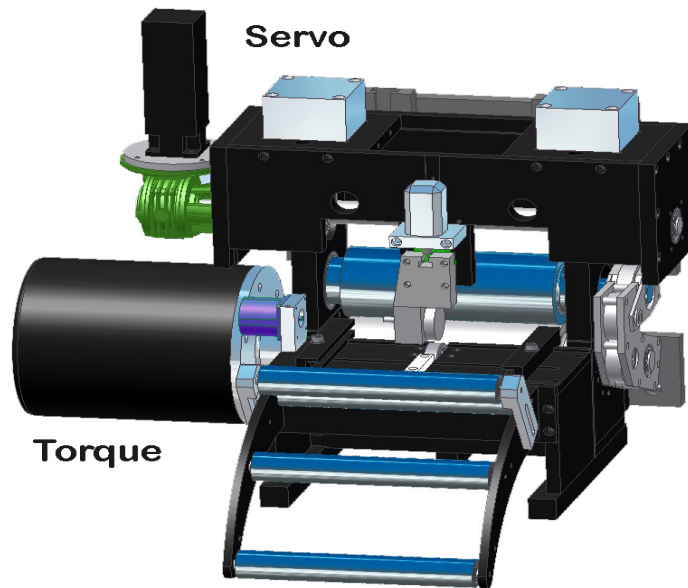
### 5.3.5. Control realimentado

El control realimentado utiliza una señal de error en la actuación, la cual es la diferencia entre la señal de entrada y la señal de realimentación, con el fin de reducir el error y llevar a la salida del sistema el valor deseado. (Ogata y colaboradores, 2010)

### 5.3.6. Opciones de control de alimentación

- **Rodillos con control a prensa:** Es considerada tecnología antigua. Consiste en acoplar una leva a la prensa para que accione el alimentador a cada vuelta del motor. La sincronización se produce independientemente de la velocidad de golpeado de la prensa, es decir, debido a que el movimiento del alimentador es dependiente de la prensa, se puede adaptar a cualquier velocidad dentro de unas limitaciones. Por este motivo es un buen sistema para altas velocidades pero tiene el inconveniente de tener dificultades para controlar el paso, ya que el tiempo de contacto entre prensa y alimentador puede variar en algunas décimas de segundo. (Alarcón, 2019)
- **Rodillos servocontrolados:** Los sistemas servo controlados, figura 5, implican el uso de un controlador de posición en control cerrado para tener datos en todo momento del recorrido llevado a cabo por la banda. Este tipo de unidades comienzan su movimiento a partir de una señal de la prensa, ante la cual llevan a cabo un ciclo programado y después vuelve a su posición de reposo. Debido a ser dependientes de la prensa tienen un tiempo máximo para poder llevar a cabo el ciclo, por lo que al depender de la velocidad de la prensa conviene planear tiempos de ciclo pequeños. La velocidad de alimentación es un factor que va en función de la potencia que es capaz de suministrar su correspondiente servo drive, mientras que los alimentadores con control a prensa pueden ir tan rápido como vaya la prensa. (Alarcón, 2019) Cuando se introdujo el concepto de alimentadores servo controlados al principio hubo mucho escepticismo al respecto ya que en sus etapas tempranas los costes eran más elevados en comparación a los alimentadores neumáticos tradicionales, pero con el tiempo, el desempeño más eficiente de los servos, su mantenimiento prácticamente nulo y la reducción de costes en su fabricación, los servos han ido ganando terreno. Con servos se puede llegar a alcanzar una velocidad estándar de 300-400 GPM (golpes por minuto) y una precisión con un rango de 0,1 mm. (Alarcón, 2019)

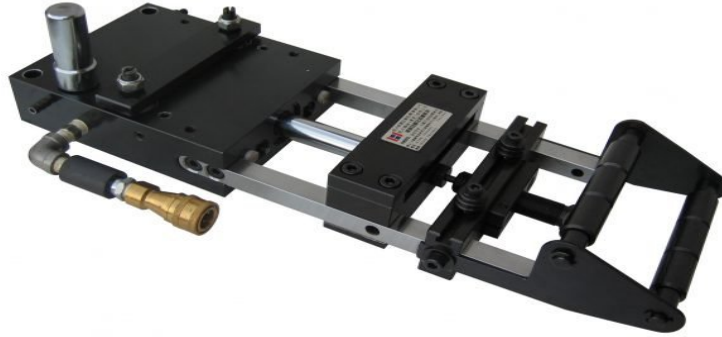




**Figura 5:** Sistema de alimentación por rodillos servocontrolados.

**Fuente:** Coil Engineering (2016).

- **Pinzas autosuficientes:** Los sistemas por pinzas autosuficientes, figura 6, pueden estar accionadas mediante sistemas neumáticos o hidráulicos, el funcionamiento del conjunto se basa sobre todo en interacciones puramente mecánicas utilizando topes manuales, o fuerza suministrada por resortes, el paso de estas pinzas es variable manualmente haciendo girar un tornillo que permite o limita más o menos el desplazamiento de la pinza móvil, este tipo de pinzas son las más económicas debido a su simplicidad pero debido a su construcción con piezas móviles que con el tiempo se ven desgastadas requieren de un mantenimiento continuo que en conjunción con las imperfecciones del mecanismo de aire a presión de su interior (bajadas de presión, escapes) hacen que se deba invertir costes en su manutención.(Alarcón, 2019)



**Figura 6:** Sistema de alimentación por pinzas autosuficientes.

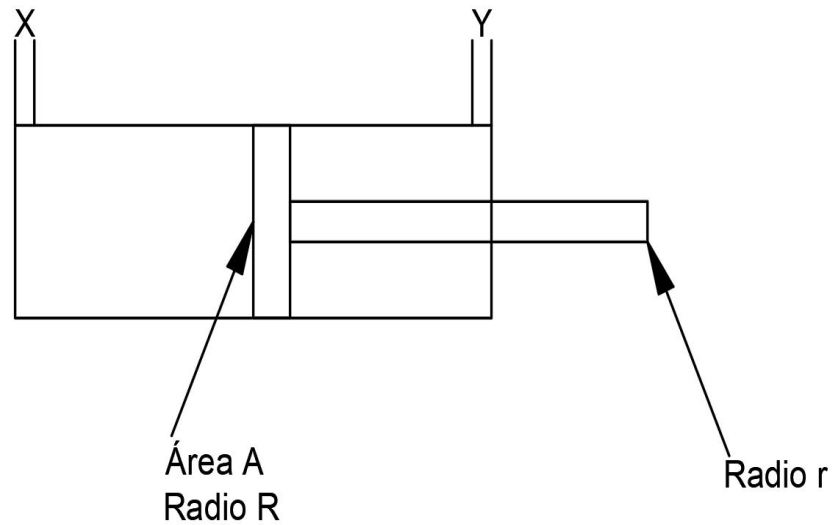
**Fuente:** Henli (2019).

## 5.4. Neumática

Los sistemas de aire comprimido proporcionan un movimiento controlado con el empleo de cilindros neumáticos aplicando ciertas herramientas como válvulas de control y posicionadores para obtener un resultado requerido. Las ventajas del uso de la neumática es el bajo costo de sus componentes, facilidad de diseño e implementación y el bajo par o la fuerza escasa que puede desarrollar a las bajas presiones con las que trabaja (6 bar) lo que constituye un factor de seguridad. Otras ventajas es el riesgo nulo de explosión, conversión fácil al movimiento lineal, posibilidad de transmitir energía a grandes distancia y por último una construcción y mantenimiento fáciles. (Creus, 2008)

### 5.4.1. Actuadores Lineales

El actuador lineal básico es el cilindro que se muestra en la figura 7, el cilindro consta de un pistón de radio  $R$ , el pistón se conecta hacia una varilla de radio  $r$  que impulsa la carga. De este modo si se aplica presión en el puerto X (con ventilación en el puerto Y), el pistón se extiende, del mismo modo, si se aplica presión en el puerto Y (con ventilación en el puerto X), el pistón se retrae, la fuerza aplicada por un pistón depende tanto del área como de la presión aplicada. (Parr, 1998)



**Figura 7:** Cilindro simple.

**Fuente:** Parr (1998).

#### 5.4.2. Detectores de señal

Los detectores o captadores de señal son dispositivos encargados de captar información en un momento dado, y transmitir ésta al equipo neumático. Estos elementos son los que controlan cada una de las fases de un proceso automático, detectando la posición del vástago de cilindros. Además de controlar la posición, envían una señal para que de forma inmediata o retardada se produzca el movimiento o fase siguiente. Existen captadores de posición que detectan la presencia de un objeto, y captadores de magnitudes físicas que realizan la misma función, pero que son sensibles a un cambio de magnitud como, por ejemplo, la presión. (Nicolas, 2009)

### 5.5. Concepto básico de un alimentador para prensa excéntrica

#### 5.5.1. Funcionamiento

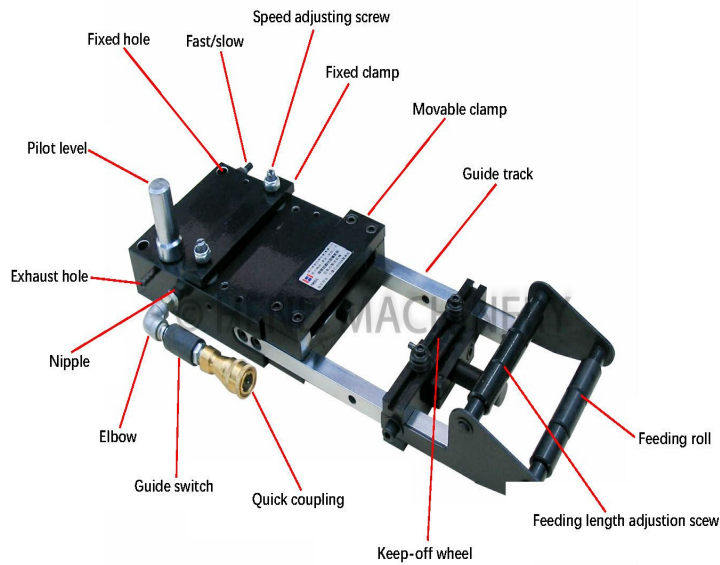
Según Alarcón (2019), un sistema de alimentación debe considerar una serie de condiciones que permitan el correcto funcionamiento del mecanismo, estas condiciones vienen dadas por la siguiente lista:

- Mover la banda en dirección de la matriz.

- Alinear la banda para correcta inserción.
- Flexibilidad en cuanto a compatibilidad con diferentes dimensiones y tipos de banda.
- La precisión en el avance es crucial por lo que el sistema debe ser rígido, bien alineado y perpendicular con la matriz.
- La sincronización con la prensa es esencial para poder realizar un trabajo en conjunto eficiente.

### **5.5.2. Sistemas de avance para chapa metálica**

Dos sistemas más comunes para llevar a cabo la acción de avance de la banda son rodillos y pinzas. La base de funcionamiento de los rodillos consiste en colocar dos rodillos uno encima del otro de modo que sus ejes estén paralelos al suelo. Uno de estos está fijo, mientras que el otro ejerce fuerza sobre el rodillo fijo mediante muelles o un sistema neumático, de esta forma se ejerce una fuerza de sujeción que mantiene la banda entre los dos rodillos. Cuando se hace girar al rodillo fijo, la fricción hace avanzar a la banda al encontrarse aprisionada entre 2 rodillos. En el caso de las pinzas su base de funcionamiento también consiste en hacer uso de la fricción estática de los materiales. Consta de tres partes: Una pinza fija, una pinza móvil y un sistema de avance lineal, véase la figura 8. Los alimentadores de pinzas más extendidos un sistema de aire comprimido que sincronizan estas tres partes. (Alarcón, 2019)



**Figura 8:** Sistema de alimentación por pinzas.

**Fuente:** Henli (2019).

El ciclo de alimentadores de pinzas consta de 6 pasos:

- Apriete de la pinza móvil.
- Liberación de la pinza fija.
- Avance de la pinza móvil.
- Apriete de la pinza fija.
- Liberación de la pinza móvil.
- Retroceso de la pinza móvil.

## 5.6. Consideraciones para el sistema de alimentación para prensa.

Según Alarcón (2019), con las diferentes opciones de alimentadores cubiertas y teniendo el concepto de cómo trabaja cada una, se deben considerar los elementos que forman parte de estas opciones y buscar diferentes alternativas que puedan cumplir con las funciones de dichos elementos. También se deben contemplar las problemáticas que pueden surgir a raíz de una alimentación deficiente aparte de no conseguir las velocidades o los recorridos requeridos, uno de los problemas que pueden surgir a la hora de alimentar una chapa metálica en una matriz

progresiva es la pérdida de tensión justo antes de entrar en la matriz. Esto puede provocar un pandeo en la chapa metálica que además de variar el paso de avance y afectar a la geometría final de la pieza también puede llegar a ocasionar colisiones debido al aumento del pandeo y la acumulación de la chapa metálica a la entrada de la matriz que pueden llegar a romper los punzones y dañar la matriz. Este defecto se puede evitar reduciendo al máximo la distancia entre alimentador y entrada de la matriz. Para cuando esto no es posible, también se pueden colocar sensores de posición en las placas de la matriz progresiva que miden una distancia cuando la matriz está cerrada. Es un sistema muy preciso, y si la chapa metálica se dobla en la matriz, el sensor lo detectará de inmediato. El inconveniente de estos dos métodos es que si se produce un problema de alimentación incorrecta, para cuando lo detecte, será demasiado tarde para detener la prensa.

A continuación en las tablas 3 y 4 se pueden ver una comparativa entre los diferentes medios de arrastre y control para el equipo, respectivamente.

**Tabla 3:** Tabla comparativa de opciones de arrastre.

<b>Rodillos</b>	<b>Pinzas</b>
Movimiento circular	Movimiento lineal
Dimensiones mayores	Dimensiones contenidas
Menos componentes a controlar	Más componentes a controlar
Ciclo de trabajo 360°	Ciclo de trabajo 180°
Costes mayores	Costes menores
Carreras flexibles	Carrera limitada

**Fuente: Alarcón (2019)**

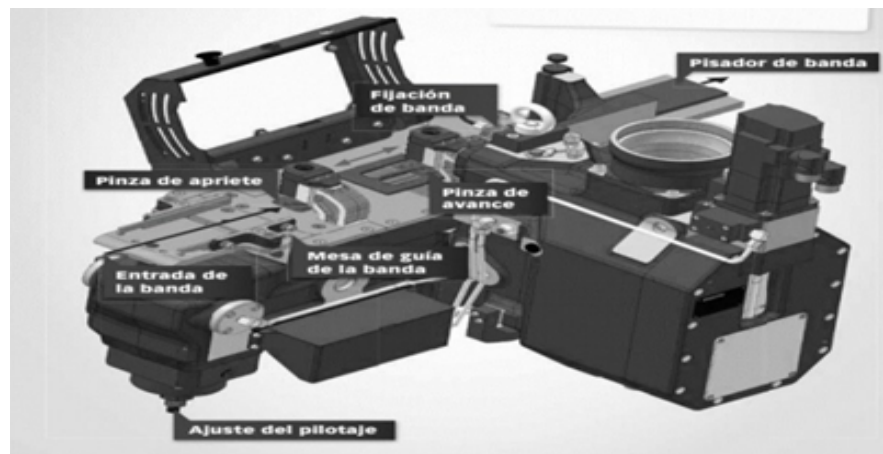
**Tabla 4:** Tabla comparativa tipos de control.

<b>Mecánico</b>	<b>Digital</b>
Regulación ensayo/error	Movimiento programable
Dependiente de la prensa	Independiente de la prensa
Comunicación por contacto de piezas	Comunicaciones rápidas
Supervisión del operario	Autodiagnóstico y corrección
Versatilidad limitada	Mayor versatilidad
Desgaste del automatismo	Automatismo virtual

**Fuente: Alarcón (2019).**

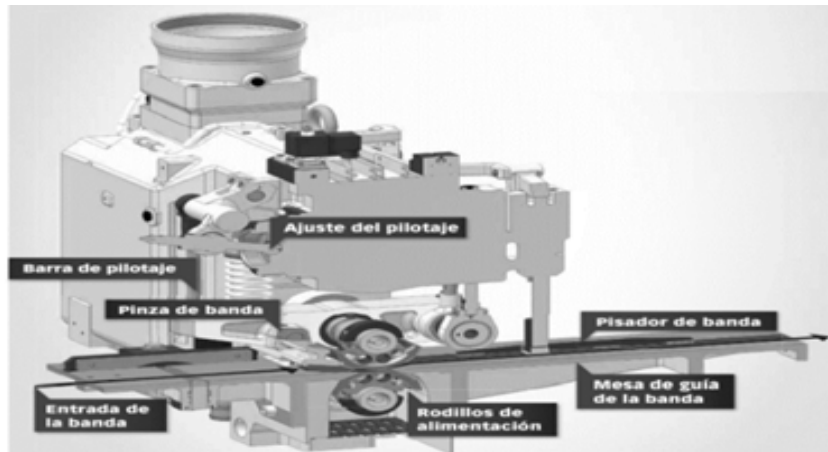
### 5.7. Alimentadores de chapa metálica para prensa

En el mercado actual existen diferentes tipos de mecanismos para alimentar la tira de lámina en el troquel y dar el avance requerido para el proceso, el objetivo es poner en marcha una estrategia de fabricación para producir mejor, como primer ejemplo están los alimentadores de última generación dotados de un servomotor y un control numérico computarizado que realiza una elevada precisión de avance de la lámina, se usan en prensas automáticas y están diseñados para materiales blandos, hay de dos tipos de arrastre, el de alimentación por pinzas, figura 9, y el de banda de rodillo, figura 10, son graduables automáticamente a cualquier espesor de chapa y se pueden combinar con cualquier tipo de prensa.(Bruderer, 2016)



**Figura 9:** Alimentador de pinzas.

**Fuente: Bruderer (2016).**



**Figura 10:** Alimentador de rodillos.

**Fuente:** Bruderer (2016).

## 5.8. Tipos de avance en sistemas de alimentación

En el proceso de fabricación de las piezas mediante matriz progresiva, se necesita que la chapa metálica avance de manera continua hacia la matriz para obtener piezas más rápidamente. El avance de la banda de chapa puede efectuarse de forma manual, semiautomática o automática. En los siguientes apartados se describen las diferentes alternativas de avance para la chapa. (Ferreiro, 2011)

### 5.8.1. Avance manual

Según Ferreiro (2011), en el avance manual el operario se encarga de hacer avanzar la tira de chapa entre unos o más topes dispuestos en la matriz cada vez que la prensa realiza un ciclo de trabajo. La producción alcanzada dependerá únicamente de la rapidez con la que el operario haga avanzar la banda sobre la matriz y no de la capacidad de la prensa o la matriz. Este sistema presenta una escasa capacidad productiva. Además, presenta los siguientes inconvenientes:

- Dificultad para el operario a la hora de hacer avanzar la banda de chapa a lo largo de la matriz desde una posición frontal a la misma.
- Riesgos de seguridad pro el hecho de que el operario tenga acceso a la matriz durante el ciclo de trabajo.



Este sistema, únicamente es aconsejable cuando no se disponen de otros medios de alimentación más automáticos o cuando las producciones sean muy pequeñas.

### **5.8.2. Avance semiautomático**

Ferreiro (2011) dice que en el avance semiautomático el avance de la chapa metálica se realiza mediante alimentador. Las tiras de chapa metálica para la fabricación de las piezas tienen una determinada medida en vez de ser bobinas de mayor longitud. Esta forma de realizar el avance de la chapa metálica es más rápida que el avance manual pero también presenta unos inconvenientes:

- Paros de producción a cada cambio de tira de chapa.
- Pérdidas de piezas fabricadas por metro lineal de chapa, al no aprovechar en su totalidad las últimas piezas de cada tira.
- Los riesgos de seguridad que comporta el hecho de que el operario tenga acceso a la matriz durante el ciclo de trabajo.

### **5.8.3. Avance automático**

Según Ferreiro (2011), en el avance automático el avance de la banda de chapa se realiza de manera totalmente automático por medio de un alimentador y partiendo de bobinas de gran longitud y cuyo diámetro interior o exterior deben estar de acuerdo con las medidas que tenga la devanadora encargada de desenrollar el material. De los tres tipos de avances de la banda expuestos, es evidente que el avance automático es el que reúne las mayores ventajas a la hora de conseguir la máxima producción en el mínimo tiempo posible. Las ventajas del sistema automático son:

- Mínimos paros de producción por cambios de bobina.
- Aprovechamiento del material en toda su longitud.
- Ausencia de riesgos laborales para el operario al no tener necesidad de acceder a la matriz durante el ciclo de trabajo.
- Mayor tiempo productivo de la máquina.
- Mayor disponibilidad del operario para trabajar con otras máquinas.

## **5.9. Sistema automático de alimentación para prensa mecánica**

Los sistemas automáticos de alimentación comprenden tres dispositivos:

1. Alimentador.
2. Devanadora.
3. Prensa.

Cada uno de estos dispositivos se encarga de alimentar, desenrollar y aplanar, respectivamente, la tira de chapa metálica que proviene de una bobina, de tal manera que todo el proceso se realice de una forma totalmente automática, sin ninguna manipulación manual, estos tres dispositivos pueden considerarse como unidades independientes entre sí, de manera que se pueden situar en lugares y distancias distintos con relación a la prensa, siempre que las necesidades de dada producción lo requieran, sin embargo, todos ellos deberán estar sincronizados con el movimiento y la velocidad que marque la prensa. (Ferreiro, 2011)

## **6. Hipótesis**

### **6.1. Hipótesis general**

- Se diseñará un sistema de alimentación automático en una prensa excéntrica para reducir tiempos en la línea de producción de la empresa INDURAMA.

### **6.2. Hipótesis específicas**

- Se establecerá las condiciones iniciales en el diseño de un sistema de alimentación automático en una prensa excéntrica para reducir tiempos en la línea de producción de la empresa INDURAMA.
- Se propondrá el diseño de un sistema de alimentación automático en una prensa excéntrica para reducir tiempos en la línea de producción de la empresa INDURAMA.
- Se evaluará mediante simulación el diseño en un sistema de alimentación automático en una prensa excéntrica para reducir tiempos en la línea de producción de la empresa INDURAMA.

- Se realizará un análisis económico en el diseño de un sistema de alimentación de una prensa excéntrica para reducir tiempos en la línea de producción de la empresa INDURAMA.

## 7. Marco Metodológico.

### 7.1. Definición de variables que intervienen en el proceso de alimentación de una prensa excéntrica

#### 7.1.1. Determinación de variables

Como se pudo evidenciar en el marco teórico, el diseño de un sistema de alimentación debe contemplar puntos importantes en su diseño y funcionamiento, es por ello que se han considerado las variables mostradas en la tabla 5, estas variables han sido planteadas en base a requisitos y requerimientos que debe tener el sistema y además se consideraron aspectos constructivos, funcionamiento y producción.

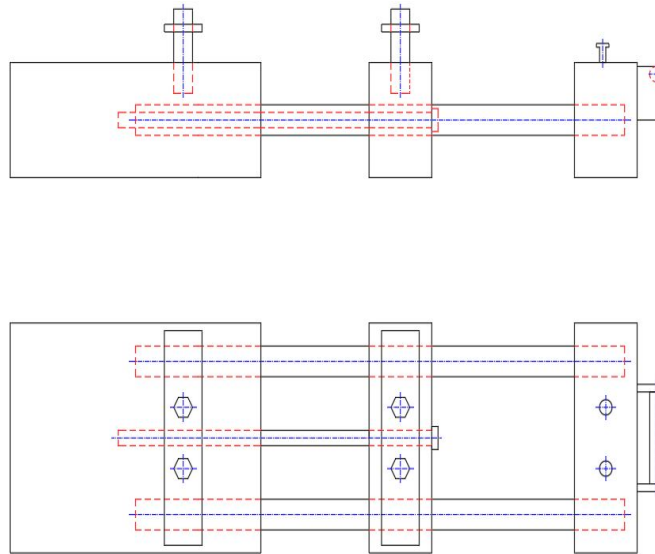
**Tabla 5:** Definición de variables para el diseño de un sistema de alimentación para prensa excéntrica.

<b>Diseño de un sistema de alimentación para prensa excéntrica</b>	
<b>VARIABLES</b>	
<b>1</b>	Costo
<b>2</b>	Seguridad
<b>3</b>	Manufactura
<b>4</b>	Precisión
<b>5</b>	Velocidad
<b>6</b>	Capacidad de producción
<b>7</b>	Tamaño
<b>8</b>	Flexibilidad del sistema
<b>9</b>	Estética

**Fuente:** Autor.

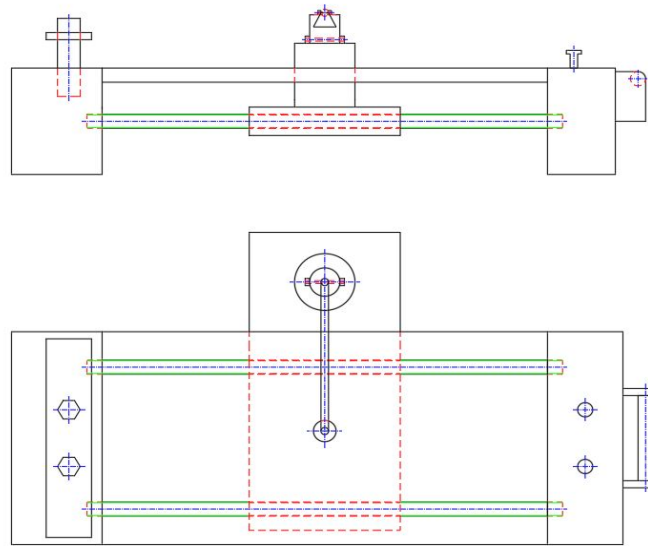
### 7.1.2. Alternativas para el diseño del sistema

En el marco teórico se observó que existen variedad de sistemas, mecanismos y principios de funcionamiento que pueden ser empleados para realizar este tipo de tarea, a continuación, se muestran bocetos de sistemas que se consideraron para el diseño, para ello se plantearon alternativas cuya principal diferencia se centra en su principio de funcionamiento teniendo así un sistema de alimentación por pinzas, figura 11, un sistema de alimentación por ventosas, figura 12, y por último un sistema de alimentación por rodillos servocontrolados, figura 13, posterior a ello, en la tabla 6, se indica una calificación de estos en función de diferentes parámetros, con esto se logra determinar cual es la opción que mejor se apega al sistema de alimentación de prensa excéntrica, teniendo en cuentas las variables previamente planteadas, requisitos y requerimientos.



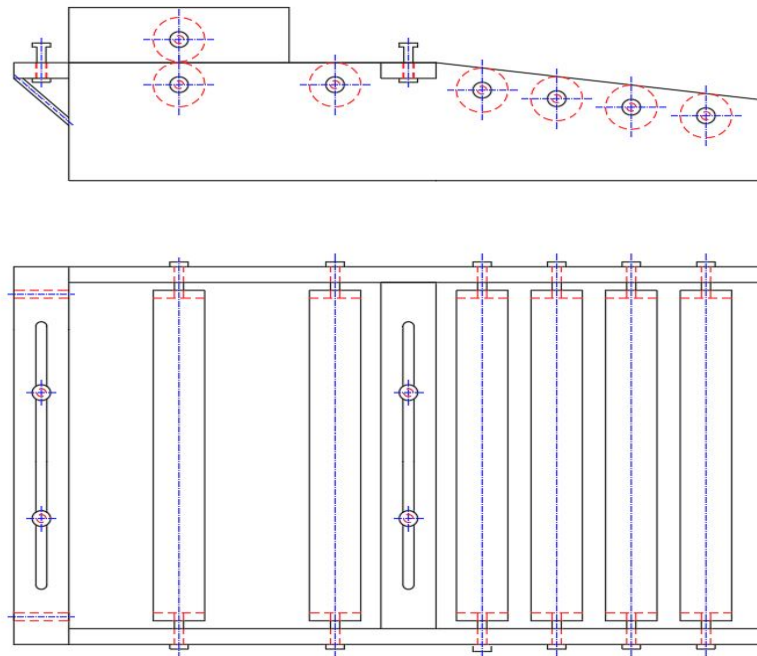
**Figura 11:** Propuesta 01 del sistema de alimentación por medio de pinzas.

**Fuente: Autor.**



**Figura 12:** Propuesta 02 del sistema de alimentación por medio de ventosas.

**Fuente:** Autor.



**Figura 13:** Propuesta 03 del sistema de alimentación por medio de rodillos.

**Fuente:** Autor.

En la tabla 6 se tiene la ponderación de variables que se utilizó para evaluar cada una de las propuestas de diseño, en esta tabla se han colocado parámetros como seguridad, costo, capacidad de producción, flexibilidad del sistema, etc. Cada una de estas cuenta con un valor de ponderación el cual ha sido colocado en función de la importancia del parámetro dentro del diseño, una vez hecho esto se procede con la evaluación de cada diseño y finalmente se multiplican estos valores para obtener una suma ponderada, cabe recalcar que el diseño que obtenga un mayor puntaje en la suma ponderada es el más adecuado ya que se apega de mejor manera al manejo de parámetros previamente planteados.

**Tabla 6:** Tabla de ponderación de variables.

Diseño de un sistema de alimentación automático para prensa excéntrica					
Criterios	Variables	Ponderación	Alternativas de diseño		
			Diseño 1: Rodillos	Diseño 2: Pinzas	Diseño 3: Ventosas
	Costo	2	1	1	1
	Seguridad	1	1	1	0
	Manufactura	1,5	1	1	0
	Precisión	2	1	1	-1
	Velocidad	2	1	1	0
	Capacidad de producción	2	1	1	0
	Tamaño	1	1	0	0
	Flexibilidad del sistema	1	1	-1	-1
	Estética	1,5	1	1	1
			2	2	2
			1	1	0
			1,5	1,5	0
			2	2	-2
	<b>Multiplicación por la ponderación</b>		2	2	0
			2	2	0
			1	0	0
			1	-1	-1
			1,5	1,5	1,5
	<b>Suma Ponderada</b>		14	11	0,5
	<b>Valoración Final</b>		1	2	3

**Fuente:** Autor.

En función de las variables consideradas, se puede determinar que el sistema de alimentación por rodillos es la opción más pertinente para la alimentación de la prensa excéntrica y el que mejor se apega a las características requeridas por la empresa, puesto que, con respecto a los demás sistemas, la transmisión de movimiento se realizará de una manera más sencilla,

el control de velocidad y el avance lineal que darán los rodillos estará controlado por un servomotor industrial permitiendo manejar distintos tipos de variables respecto a su control.

### 7.1.3. Selección del motor

Una de las condiciones iniciales del diseño es el motor a usar dentro del sistema, por cuestiones de requerimientos de la empresa se propuso el uso de un servomotor industrial Kinco AC SMH110D-0126-20AAK-4LKC cuyas características se pueden observar en la tabla 7.

**Tabla 7:** Características servomotor Kinco.

<b>Características del servomotor Kinco</b>			
<b>Potencia</b>	1260	<b>V</b>	220
<b>A</b>	6.15	<b>Nm</b>	6.0
<b>RPM</b>	2000	<b>IP</b>	65

**Fuente: Kinco.**

### 7.1.4. Determinación del sistema de transmisión

Para el sistema de transmisión se optó el uso de bandas sincronizadas y poleas dentadas, esto debido condiciones de diseño y características que poseen las bandas dentadas, para la selección del paso de la polea se determinó que la carga a soportar será ligera, por lo tanto, se definió que el pasó será de 3/8 pulgadas.

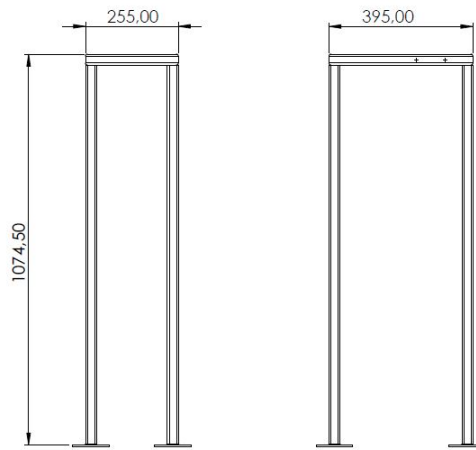
## 7.2. Diseño mecánico del sistema de alimentación para prensa ex-céntrica

Para el diseño del sistema de alimentación se consideraron aspectos constructivos evitando geometrías complejas, en cuanto a las dimensiones del sistema se deben considerar aspectos como la altura que tiene la matriz de la prensa, la distancia entre la bobina de chapa metálica y la prensa, además se debe considerar el pandeo de la chapa metálica dentro de esta distancia, además cabe recalcar que para evitar el deslizamiento y deformación de la chapa metálica entre los rodillos, se analiza la posibilidad de recubrirlos con un material menos rígido.

### 7.2.1. Diseño de la estructura para el soporte del sistema

Para el diseño de la estructura del sistema se consideraron parámetros geométricos y dimensionales, en cuanto al tema dimensional se debe tener en cuenta la altura a la que ingresa la chapa metálica, teniendo así que la chapa metálica ingresa a una altura de 1165mm desde el suelo.

Una vez planteadas las condiciones que debe cumplir la estructura respecto a la altura y soporte para el sistema se tiene el dimensionamiento como se muestra en la figura 14.



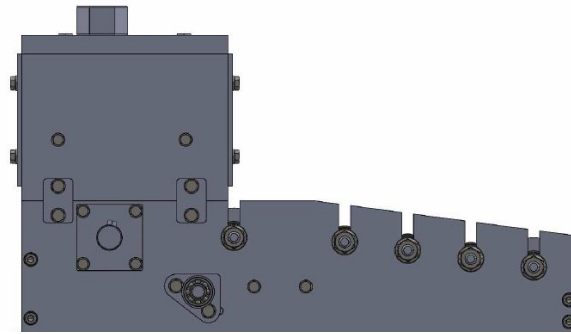
**Figura 14:** Dimensionamiento de la estructura para soporte del sistema.

**Fuente:** Autor.

### 7.2.2. Diseño de la carcasa del sistema

Para el diseño de la carcasa del sistema se consideraron parámetros donde se evitan las geometrías complejas, esto teniendo en cuenta el aspecto constructivo del sistema, como se puede observar en la figura 15, la carcasa tiene una inclinación debido a que se debe tener en cuenta la caída de la chapa metálica, otra característica que tiene la carcasa son ranuras, estas se realizaron con el fin de colocar rodillos locos que sirvan de soporte y guía para la chapa metálica.





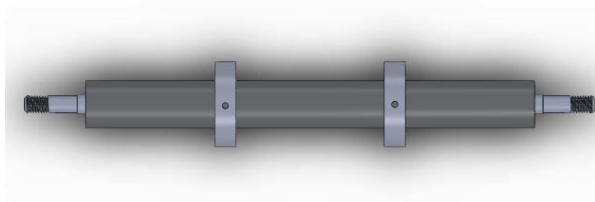
**Figura 15:** Carcasa del sistema.

**Fuente:** Autor.

### 7.2.3. Diseño de rodillos guía para la chapa metálica

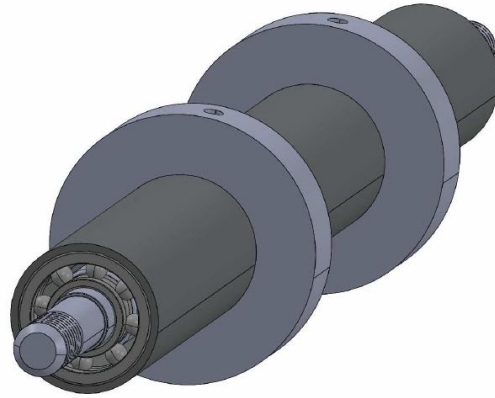
Para el diseño de los rodillos se contempló el modo de funcionamiento de estos, teniendo en cuenta de que no van a estar sometidos a elevados esfuerzos y que tienen que girar de acuerdo con el contacto de la chapa metálica.

El diseño de los rodillos posee un eje roscado en sus extremos y en su interior posee un rodamiento, este eje ingresa a presión en el diámetro interno del rodamiento y el diámetro mayor de este rodamiento ingresa a presión en un tubo, esto con el fin de que el rodillo gire al contacto con la chapa metálica, el diseño de este elemento se puede observar en las figuras 16 y 17, además se le han colocado anillos cuyo rol dentro de la máquina es servir como guías para la chapa metálica.



**Figura 16:** Vista superior de los rodillos guía.

**Fuente:** Autor.

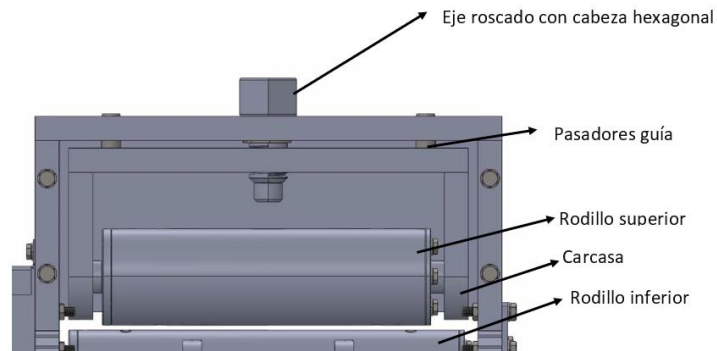


**Figura 17:** Vista en perspectiva de los rodillos guía.

**Fuente:** Autor.

#### 7.2.4. Diseño del sistema de presión para chapa metálica

Para el sistema de presión se deben considerar las partes fundamentales que conforman este mecanismo, para ello se tiene un esquema en la figura 18, donde se puede apreciar el tornillo hexagonal que se encarga de hacer subir y bajar a la carcasa y con ello al rodillo superior para ejercer presión sobre la chapa metálica, además se pueden observar los pasadores que funcionan como guía, finalmente se tiene al rodillo inferior el cual es fijo y se conecta con el motor gracias al sistema de transmisión de las figuras 19 y 20.

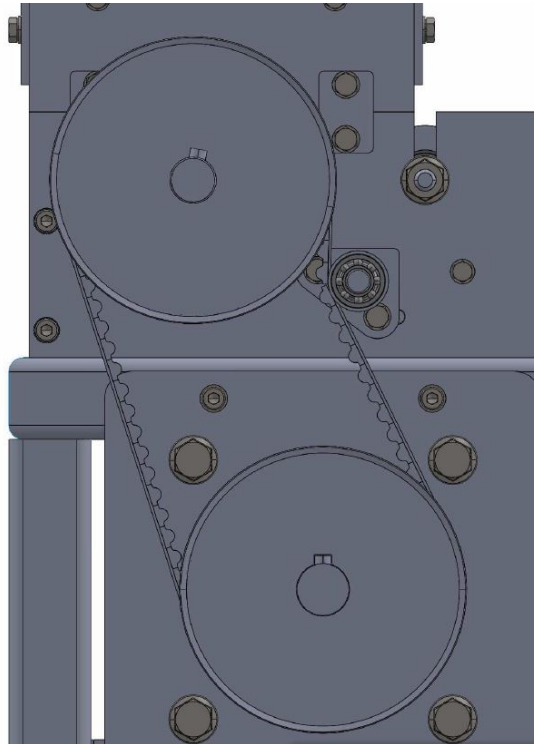


**Figura 18:** Sistema de presión por rodillos para chapa metálica.

**Fuente:** Autor.

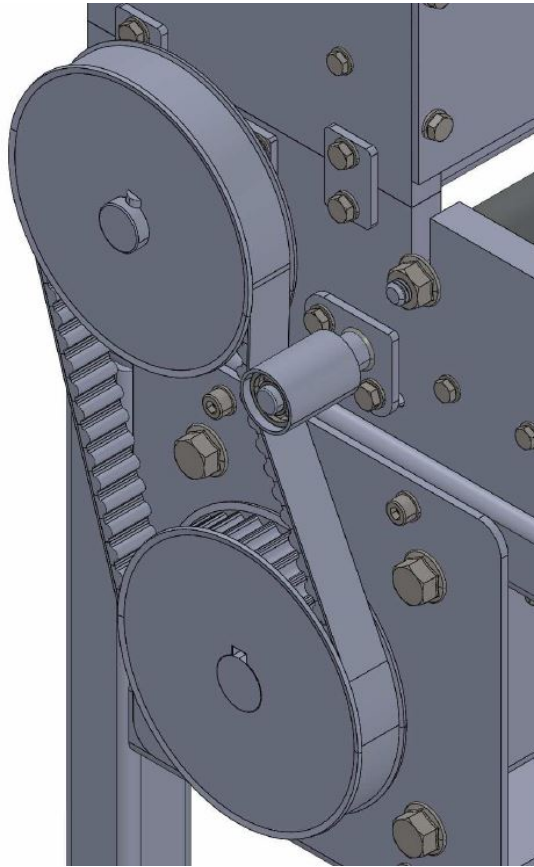
### 7.2.5. Diseño del sistema de transmisión

Para el diseño del sistema de transmisión de movimiento se deben cumplir ciertos requerimientos tales como que el motor debía encontrarse dentro de la estructura de la máquina, y que las poleas utilizadas debían ser dentadas, es de esta manera que se obtiene como resultado el sistema que se muestra en las figuras 19 y 20, el cual está compuesto por 2 poleas dentadas con una relación de transmisión 1:1, una banda sincronizada y un elemento tensor.



**Figura 19:** Sistema de transmisión de movimiento por poleas.

**Fuente:** Autor.



**Figura 20:** Vista en perspectiva del sistema de transmisión de movimiento por poleas.

**Fuente: Autor.**

#### **7.2.6. Selección de materiales**

Para la selección de materiales se debe tener en cuenta factores que influyen en el correcto funcionamiento de la máquina, para ello se considera lo siguiente:

- En cuanto al material de los rodillos se debe garantizar que cumpla con la característica de antideslizamiento, el cual no debe ser rígido para evitar deformaciones y deslizamientos involuntarios.

A continuación, en la tabla 8, se pueden observar los materiales seleccionados para el diseño del sistema.

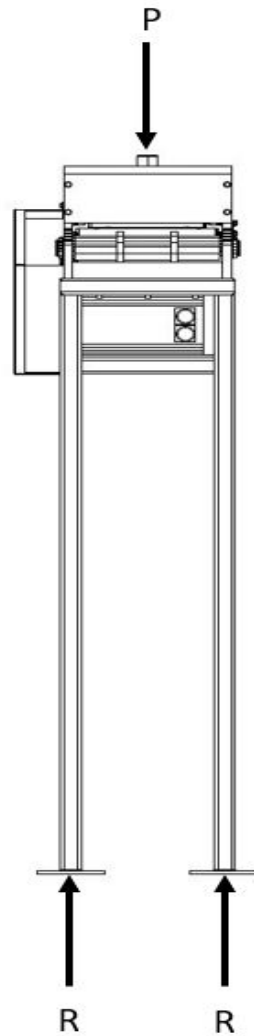
**Tabla 8:** Materiales de construcción para el sistema de alimentación automático.

Aplicación	Material	Características
Soporte estructural	Tubo estructural cuadrado galvanizado	<ul style="list-style-type: none"><li>• Acero estructural de bajo carbono</li><li>• Calidad SAE J 403 1008</li><li>• Alta soldabilidad</li><li>• Resistencia a la oxidación</li></ul>
Recubrimiento para rodillos	Grilón	<ul style="list-style-type: none"><li>• Facilidad de mecanizado</li><li>• Estabilidad térmica</li></ul>
Ejes y rodillos	Acero de transmisión SAE 1045	<ul style="list-style-type: none"><li>• Alta soldabilidad</li></ul>
Paredes internas y externas	Plancha de acero A36	<ul style="list-style-type: none"><li>• Versatilidad en formado</li><li>• Alta soldabilidad</li></ul>
Protección para poleas	Plancha de acero galvanizado	<ul style="list-style-type: none"><li>• Versatilidad en doblado</li></ul>

**Fuente:** Autor.

### 7.3. Cálculo de componentes mecánicos

El cálculo de componentes mecánicos es de suma importancia dentro del diseño ya que de esta manera se aprecian los esfuerzos a los que van a estar sometidos los elementos, como se puede observar en la figura 21, para este sistema se ha considerado una fuerza que abarca todo el peso de los elementos en conjunto con el peso del motor y de la chapa metálica, además se obtienen reacciones en la base de la estructura.

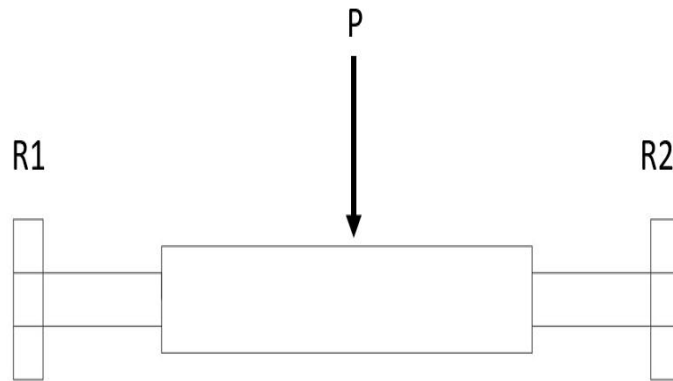


**Figura 21:** Diagrama de cuerpo libre del sistema de alimentación para prensa excéntrica.

**Fuente:** Autor.

Una vez elaborado el diagrama de equilibrio estático se realiza el cálculo de esfuerzos y deformaciones por medio de un análisis de elementos finitos.

Otros de los componentes que van a estar sometido a esfuerzos son los rodamientos, es por ello que se seleccionan los elementos críticos los cuales se ubican en el servo controlador, por lo cual se procede con el cálculo de vida útil. En la figura 22 se tiene el diagrama de cuerpo libre del eje con los rodamientos.



**Figura 22:** Diagrama de cuerpo libre de los rodamientos ubicados en el rodillo servo controlado.

**Fuente: Autor.**

Ya planteado el diagrama de cuerpo libre se tiene la siguiente fórmula para el cálculo de la vida nominal básica del rodamiento:

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60n} \cdot \frac{C^3}{P^3} \quad (1)$$

Donde n es el factor de velocidad del rodamiento, C es la capacidad básica de carga dinámica y P es la carga dinámica equivalente. Por lo tanto se procede con el cálculo de la vida nominal del rodamiento.

$$P = 11.38 \text{ N}$$

$$C = 6.37 \text{ kN}$$

$$n = 100$$

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60(100)} \cdot \frac{6370N^3}{11,38N^3}$$

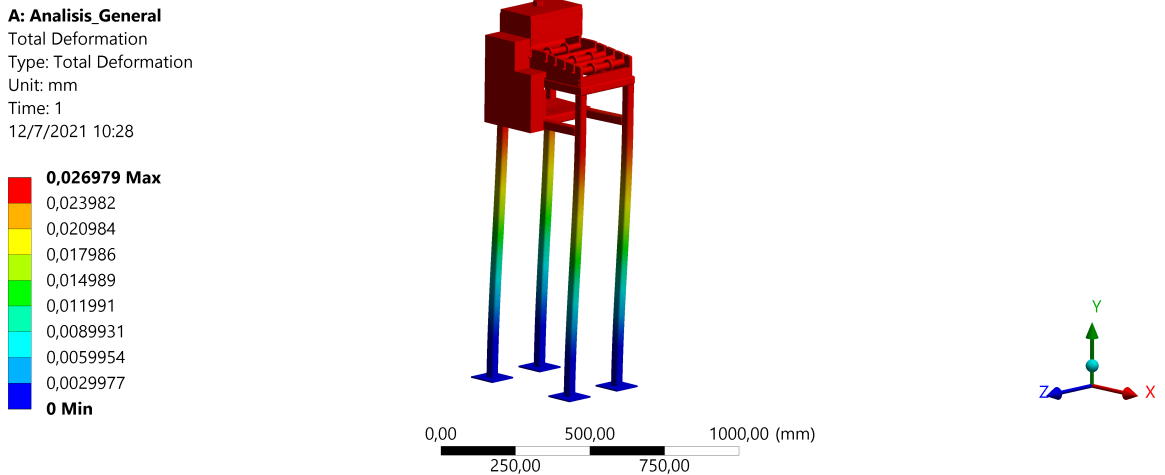
$$L_{10h} = 2,92 \times 10^{11} h$$

Como se observa, la vida nominal útil de cada rodamiento es de  $2,92 \times 10^{11}$  horas, considerando que estos rodamientos son los que se encuentran expuestos al mayor de los esfuerzos se puede decir que los rodamientos de los rodillos guía no serán calculados debido a que el esfuerzo al que están sometidos es sumamente bajo, con lo cual la vida nominal básica de los rodamientos será elevada.

## 7.4. Análisis por elementos finitos

Una vez modelado el sistema en 3D se procede con el análisis por medio de elementos finitos del mismo, para este análisis se planteó una malla y un Jacobiano con un promedio de 0.75 y 0.95 respectivamente, los cuales sustentan la convergencia del método, además para el análisis de esfuerzos y deformaciones se consideró la fuerza de 103 N y 10 N que ejercen el motor y la chapa metálica respectivamente.

Como se puede observar en la figura 23, se tiene una deformación total del sistema que posee un valor mínimo de 0 mm y un valor máximo de 0.026 mm la cual no afectará el funcionamiento del sistema.

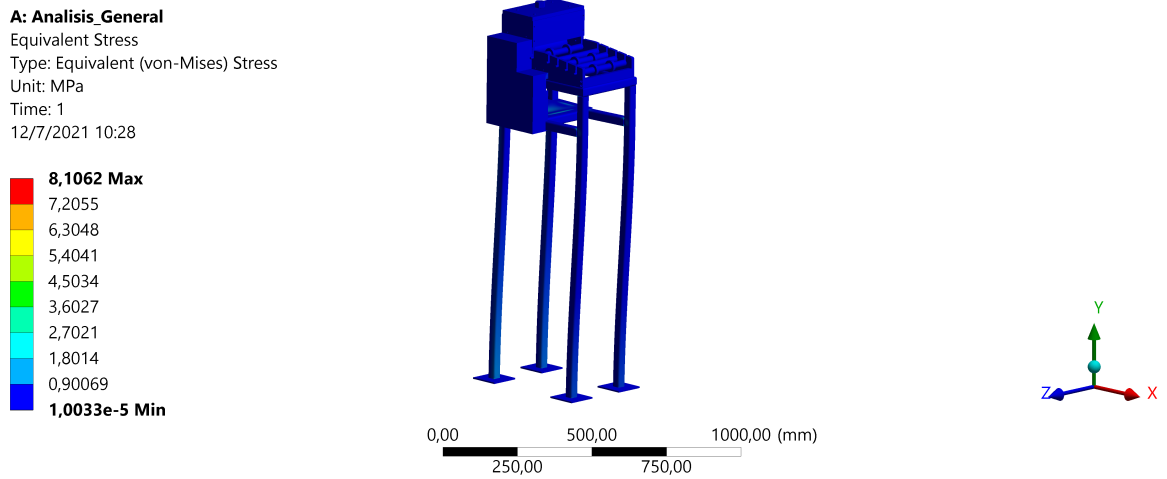


**Figura 23:** Deformación total del sistema.

**Fuente:** Autor.

En tanto, en la figura 24 se tienen los resultados del esfuerzo equivalente donde se tiene como valor mínimo un esfuerzo de  $1.0033e-5$  MPa y un valor máximo de 8.1062 MPa, considerando que el esfuerzo admisible del material es de 250 MPa, se puede concluir que las cargas aplicadas no generan esfuerzos que produzcan deformaciones plásticas ni roturas en el material.



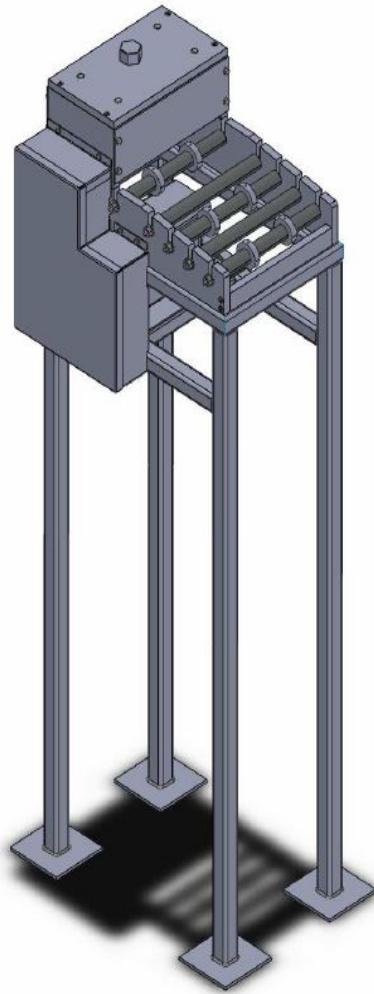


**Figura 24:** Esfuerzo total del sistema.

**Fuente: Autor.**

## 7.5. Resultados de diseño mecánico

Para el diseño mecánico se tomaron en cuenta aspectos y variables mencionadas anteriormente, las cuales se basan en la tabla 4, la cual demostró que el sistema que mejor se acopla a las necesidades es el sistema servoalimentado por rodillos. Como resultado de la propuesta de diseño se tiene el sistema presentado en las siguientes figuras:

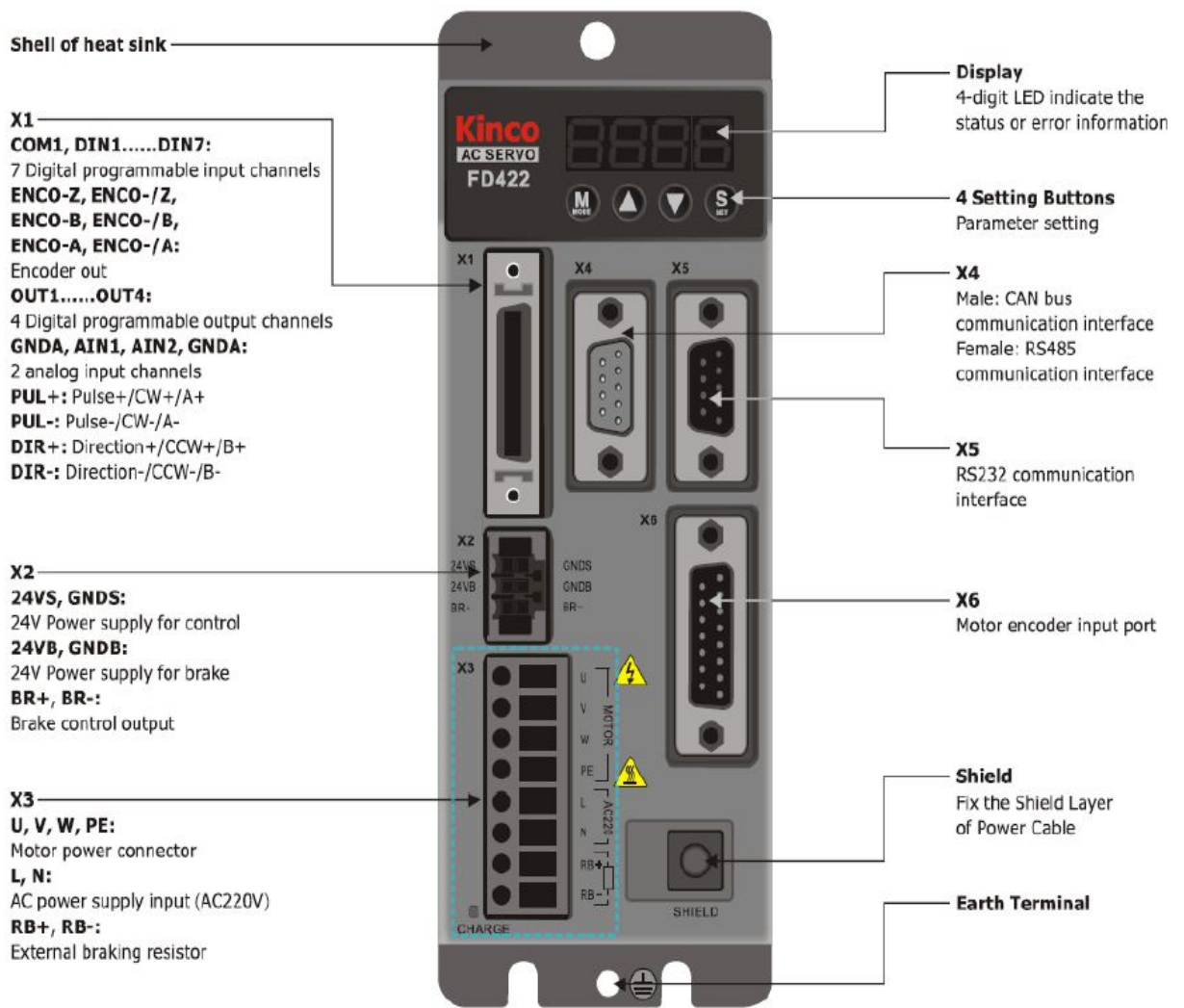


**Figura 25:** Vista isométrica del sistema en 3D.

**Fuente:** Autor.

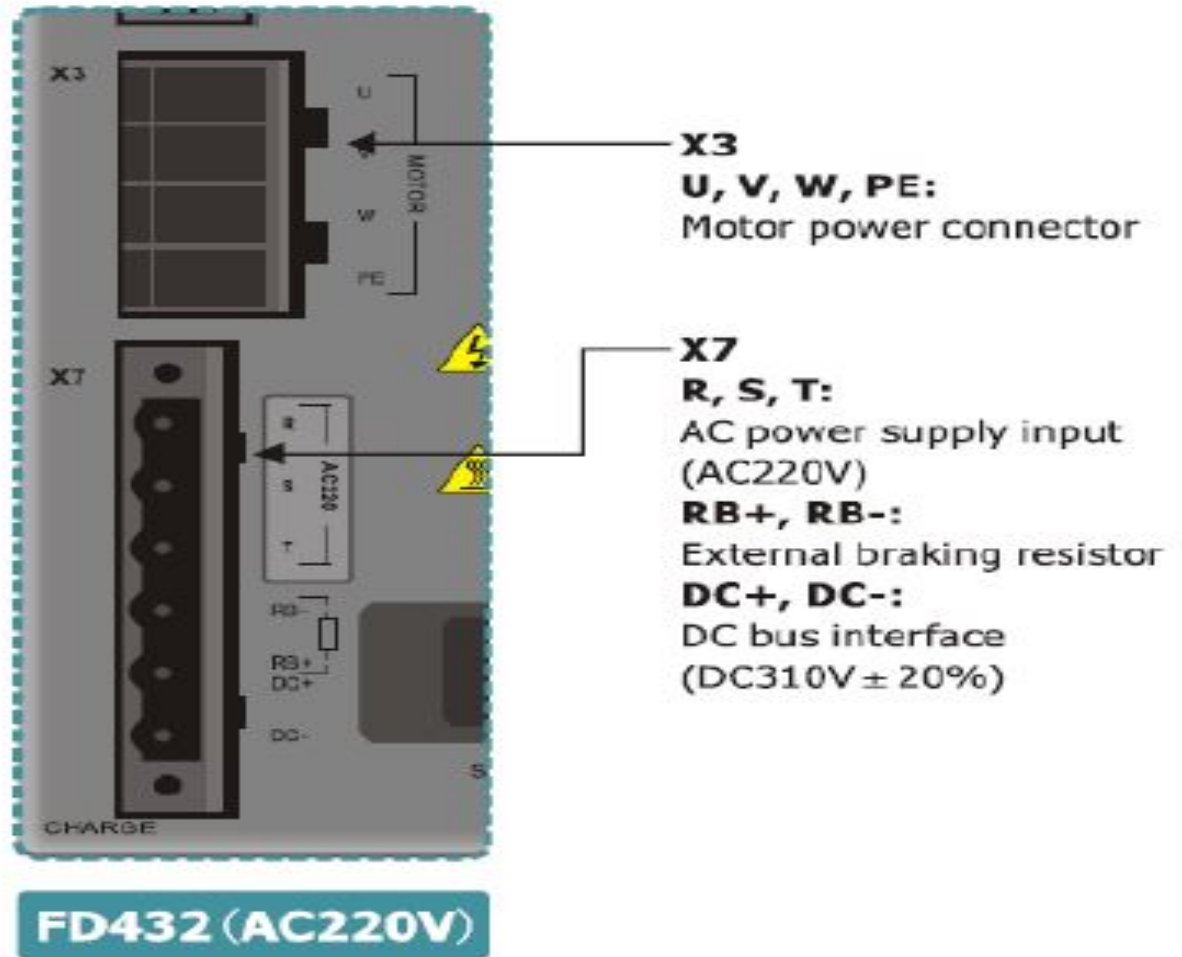
## **7.6. Diseño del sistema de control**

Como se mencionó en apartados anteriores, por requerimiento de la empresa, el actuador que se utilizará para el sistema es un servo motor Kinco, este servomotor posee un driver que es el que se encarga de manejar las variables existentes en el motor tales como rpm, posición, torque, etc. En las figuras 26 y 27, se puede observar a detalle la apariencia del driver además de sus partes.



**Figura 26:** Vista frontal del servo driver y sus componentes.

**Fuente:** Kinco (2019).



**Figura 27:** Vista a detalle del servo driver y sus componentes.

**Fuente:** Kinco (2019).

Puesto que el control del servomotor será realizado por parte de un servo driver, es necesario mencionar que este es programado mediante una herramienta de software de la propia marca llamado "KincoServo+", este programa permite controlar el servo de diferentes modos como por ejemplo:

- Modo pulsos.
- Analog speed mode.
- Analog torque mode.

- DIN position mode.
- DIN speed mode.
- Position table mode.

En este caso, de acuerdo a la necesidad que se tiene, se optó por el modo "Position table mode", en este modo, el software nos presenta una tabla como se muestra en la figura 28.

CTL Reg of index:0												
Bit0-4:Next Index	Bit5	Bit6	Bit7	Bit8:Next/Stop	Bit9:Cond 0	Bit10:Cond 1	Bit11:And/Or	Bit12-13:MODE	Bit14-15:StartCond.			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Idx	MODE	StartCond.	Pos inc	Speed rpm	Delay ms	Acc idx	Dec idx	CTL Reg	Loops	Rest	Acc rps/s	Dec rps/s
0	A	Ignore	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	A	Ignore	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	A	Ignore	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	A	Ignore	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	A	Ignore	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	A	Ignore	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	A	Ignore	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	A	Ignore	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	A	Ignore	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	A	Ignore	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	A	Ignore	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	A	Ignore	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	A	Ignore	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	A	Ignore	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	A	Ignore	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	A	Ignore	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	A	Ignore	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	A	Ignore	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	A	Ignore	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	A	Ignore	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	A	Ignore	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	A	Ignore	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	A	Ignore	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	A	Ignore	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	A	Ignore	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	A	Ignore	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	A	Ignore	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	A	Ignore	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	A	Ignore	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	A	Ignore	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	A	Ignore	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	A	Ignore	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



**Figura 28:** Tabla para el control por posición del servomotor.

**Fuente:** Kinco (2019).

Donde se deben llenar aspectos como:

- Condición inicial.

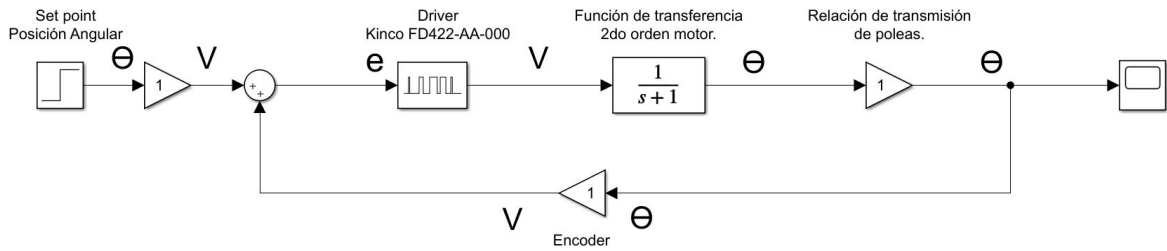
- Posición inicial.
- Velocidad RPM.
- Delay ms.
- Índice de aceleración.
- Índice de desaceleración.
- Cantidad de veces que realizará esta acción.

Es de esta manera como se controlará el motor, teniendo en cuenta que las posiciones que se establezcan se relacionan de manera directa con el avance lineal que tendrá la chapa metálica, es por ello que hay que realizar un cálculo que relacione el ángulo de giro del motor con el avance lineal de la misma (2). Donde L es la longitud lineal (mm), y r es el radio (mm) de los rodillos que se encuentran en contacto con la chapa metálica.

$$L = 2 \cdot \pi \cdot r \quad (2)$$

Para continuar con la parte de control de la máquina se presenta la figura 29, donde se muestra el diagrama de bloques que describe el comportamiento dinámico de la planta, de manera preliminar, está compuesto por tres bloques principales que son:

- Función de transferencia del driver cuyo principio de funcionamiento se basa en modulación por ancho de pulso (PWM).
- Función de transferencia del motor cuya entrada viene dada por una señal de voltaje y en su salida se obtiene una posición angular.
- Finalmente una ganancia que permite transformar la posición angular de la salida del sistema en una señal de voltaje para poder cerrar el lazo de realimentación.

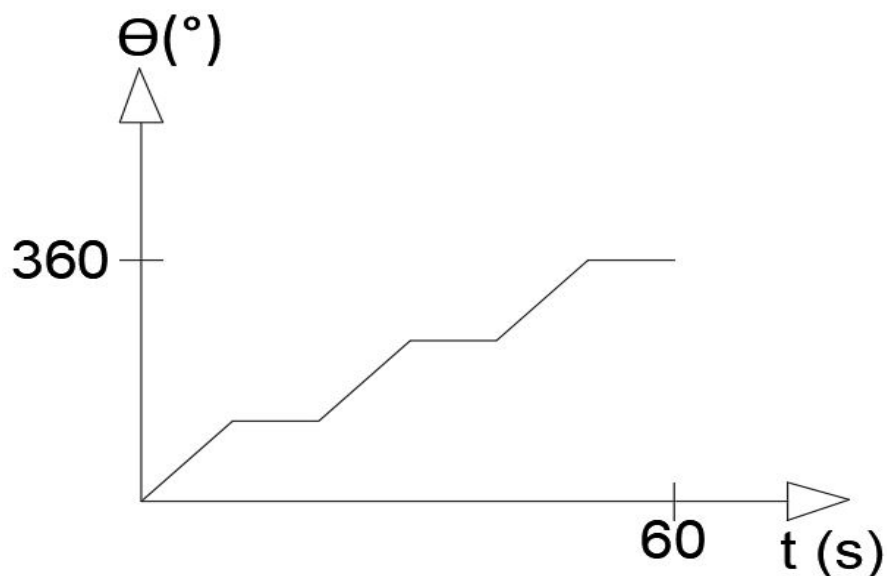


**Figura 29:** Diagrama de bloques de la planta.

**Fuente:** Autor.

Como se puede observar, en el diagrama de bloques de la figura 29, existe una señal de ingreso o set point, esta señal de ingreso viene dada por dos condiciones, una que es la posición de la prensa y otra es el ángulo de giro del motor que viene a ser el avance lineal que se necesita para la longitud de las piezas a producir. La posición de la prensa juega un papel importante ya que la máquina depende de esta para generar su avance, la posición de la prensa generará una señal mediante el uso de un sensor magnético el cual entregará una señal digital para indicar que la posición de la prensa es la adecuada y así los rodillos giren para que la chapa metálica ingrese a la matriz.

Respecto al lazo de realimentación, esta parte la realiza un sensor encoder el cual se encuentra integrado en el servomotor, este sensor genera pulsos a partir del giro del motor y estos dan una señal de voltaje que ayuda a realimentar el sistema y así determinar que la posición deseada del motor sea la correcta; una vez explicado eso, se presenta en la figura 30 el diagrama de estado del motor donde  $t$  es el tiempo y  $\theta$  es el ángulo de giro del motor.



**Figura 30:** Diagrama de estado del servomotor.

**Fuente: Autor.**

En cuanto a la función de transferencia del motor según Nise (2014), la función de transferencia de la posición angular respecto al voltaje que recibe un motor viene dado por la ecuación 3.

$$\frac{\Theta_m(s)}{E_a(s)} = \frac{K_t / (R_a \cdot J_m)}{s \cdot [s + \frac{1}{J_m} \cdot (D_m + \frac{K_t \cdot K_b}{R_a})]} \quad (3)$$

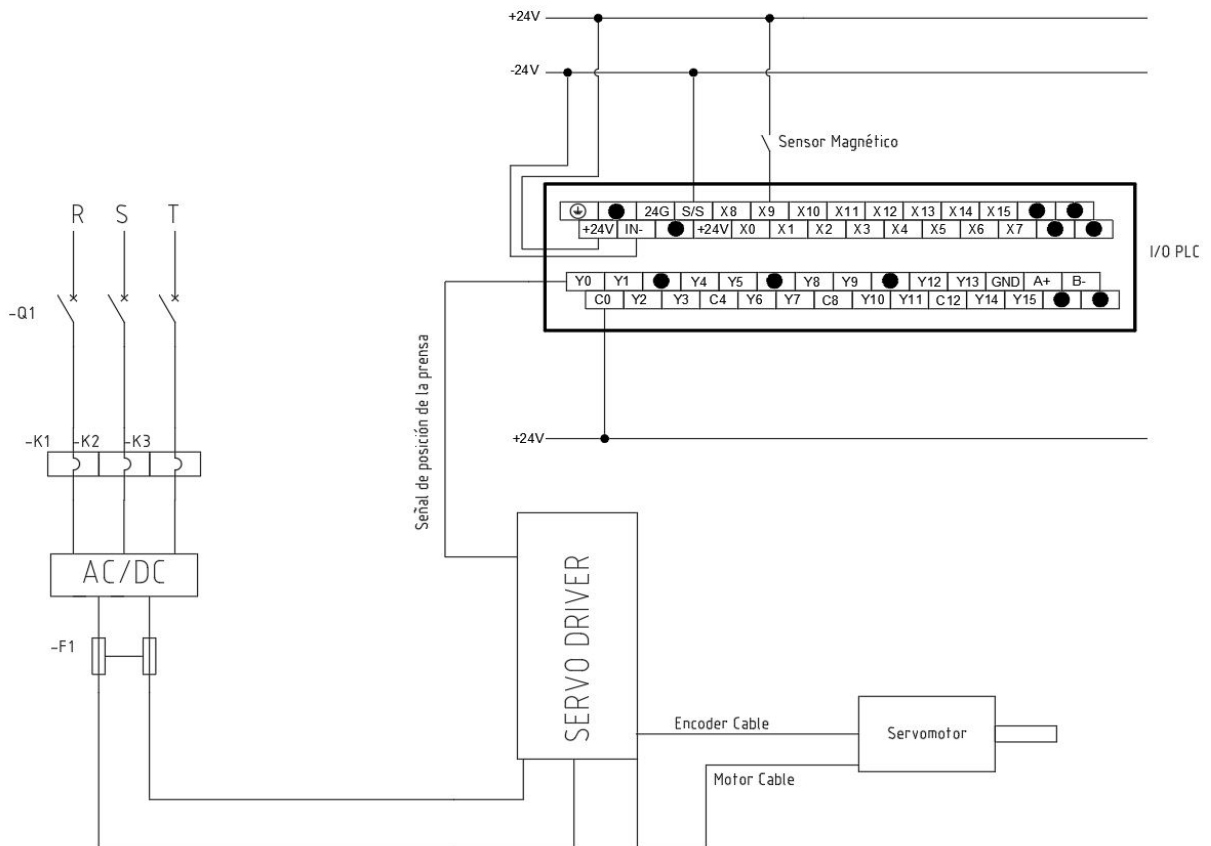
Esta función de transferencia sale del análisis eléctrico de un motor que está formado por una resistencia, inductancia de armadura  $R_a$  y un voltaje que se encarga de hacer girar el rotor del motor ( $V_b$ ). Como se necesita una función de transferencia que relacione la posición angular versus el voltaje el parámetro ( $V_b$ ) se relaciona con la razón de cambio angular mediante una constante ( $K_b$ ) que es una constante de proporcionalidad llamada “Constante de retorno de fuerza electromotriz”. Después mediante un análisis de Kirchhoff se reemplazan las resistencias e inductancias del motor mediante varios parámetros propios de este de tal modo que aparecen las constantes  $J_m$ ,  $D_m$  y  $K_t$ . Donde  $J_m$  es la inercia del eje,  $D_m$  es el diámetro del eje y  $K_t$  es el torque del motor.

### 7.6.1. Diseño del esquema de conexión eléctrica

Como se puede observar en la figura 31, se tienen conexiones tanto de alimentación del servodriver como el esquema electrónico de conexión del PLC y la adquisición de las señales



las cuales ayudarán al sistema a detectar la posición de la prensa con ayuda de un sensor, cabe recalcar que el esquema de alimentación del servodriver está basado en información proporcionada por el manual de este.



**Figura 31:** Esquema de conexión del sistema.

**Fuente:** Autor.

## 8. Análisis de costos de fabricación.

Una vez que se tiene un modelo de producto final de procede con el análisis de costos, puesto que es sumamente importante tener en cuenta cual será el valor final del producto considerando costos materiales y mano de obra, a continuación, en la tabla 9 se detalla el presupuesto requerido para el proyecto en función de los recursos materiales.

**Tabla 9:** Presupuesto de recursos materiales.

<b>Costo Recursos Materiales</b>				
	<b>Nombre</b>	<b>Precio Unitario (\$)</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Total (\$)</b>
1	Kit Servomotor Kinco	1700	1	1700
2	PLC Mitsubishi FX3G/24MR	300	1	300
3	Tablero de control	200	1	200
4	Rodillos locos	25	5	125
5	Tubo cuadrado 30x30x1.5	30	1	30
6	Rodillos de presión	130	2	260
7	Plancha 1100x400x12	150	1	150
8	Plancha 800x400x3	60	1	60
9	Plancha 800x400x1	30	1	30
10	Eje para presión	40	1	40
11	Banda	80	1	80
12	Recubriente rodillos	50	2	100
13	Poleas	250	2	500
14	Rodamiento SKF 619/9	2,2	12	26,4
15	Rodamiento SKF 6003	1	4	4
16	Tornillos	0,15	60	9
17	Arandelas	0,1	60	6
			<b>Precio final</b>	<b>3620,4</b>

**Fuente:** Autor.

En la tabla 10 se tiene a detalle el presupuesto requerido para el proyecto en función de la mano de obra, para esto se consideraron horas de programación, montaje y mecanizado.

**Tabla 10:** Costo de la mano de obra para el proyecto.

<b>Mano de obra</b>				
<b># de Elemento</b>	<b>Nombre</b>	<b>Costo hora (\$)</b>	<b>Horas</b>	<b>Total (\$)</b>
1	Programación	20	30	600
2	Montaje	10	24	240
3	Mecanizado	20	35	700
<b>Precio Final</b>				<b>1540</b>

**Fuente:** Autor.

Finalmente, en la tabla 11 se tiene el valor total del sistema considerando el costo de los recursos materiales y mano de obra.

**Tabla 11:** Costo total del sistema.

<b>Costo final del sistema</b>		
<b># de Elemento</b>	<b>Nombre</b>	<b>Total (\$)</b>
1	Recursos materiales	3620,4
2	Mano de obra	1540
<b>Precio Final</b>		<b>5160,4</b>

**Fuente:** Autor.

## 9. Conclusiones.

- El planteamiento de variables que intervienen en el diseño del sistema es de vital importancia ya que estas ayudan a definir de mejor manera los requisitos que debe cumplir el sistema y enfocar los resultados del diseño mecatrónico hacia las necesidades planteadas en un principio, es necesario tener en cuenta que al realizar el diseño para una empresa también existen requerimientos los cuales pueden modificar el diseño, sin embargo una vez que se tiene un diseño final es necesario evaluar el comportamiento

que este tendrá en relación con las variables que se esperan manejar y que tanto los requisitos y requerimientos se cumplan.

- Una vez planteada la propuesta de diseño, se evaluó la parte constructiva del sistema teniendo en cuenta que no existan geometrías complejas que puedan afectar su elaboración, además, considerando que al ser una máquina que funciona durante jornadas de trabajo extensas sus elementos mecánicos inevitablemente presentarán desgaste que afectará el funcionamiento, es por ello que durante el proceso de diseño se consideraron algunos parámetros que facilitarán el mantenimiento del equipo en puntos críticos, tal es el caso de rodamientos de los rodillos de guía y presión, poleas y banda dentada del sistema de transmisión; adicionalmente las uniones atornilladas permiten un fácil desmontaje y reemplazo de los elementos mencionados en caso de que sea necesario. Haciendo referencia al sistema electrónico se constató que el servo motor es un sistema embebido que cuenta con su propio controlador, por lo que con el análisis de su funcionamiento y programación se pudo concluir que su operación gira en torno al uso de un encoder que sensa la posición del motor realimentando una señal de error que actúa sobre un generador PWM que corrige la posición angular del eje del motor.
- En cuanto a los resultados del sistema tanto de diseño como simulación, se puede añadir que el diseño cumple con los requisitos y requerimientos planteados. Con respecto al análisis por elementos finitos se tienen resultados positivos ya que la deformación máxima de 0.026 mm no afectará el funcionamiento del sistema y en cuanto al esfuerzo que soportarán los materiales se tiene que el material que es acero A36 tiene un límite de fluencia mínimo de 250 MPa y el esfuerzo máximo que se obtiene en los elementos mecánicos es de 8.10 MPa por lo que no se presentarán inconvenientes en cuanto a este aspecto.
- Un análisis de costos de construcción del diseño es de mucha ayuda ya que nos ayuda a determinar costos en cuanto a mano de obra y materiales para con esto determinar si el sistema es competitivo con otros sistemas que podemos encontrar en el mercado, una vez obtenidos los resultados del análisis de costos se tiene que el equipo tendrá un costo aproximado de \$5200 dólares, esto es bueno ya que en el mercado se encuentran sistemas similares con precios que van desde los \$7000 hasta los \$12000, teniendo en cuenta que la mayoría de sistemas deben ser importados.
- Por último, al ser un sistema que realiza la alimentación de manera automática únicamente teniendo condiciones de funcionamiento como la posición de la prensa y el avance

lineal de sus rodillos se puede decir que los tiempos de producción mejorarán, además, al reducir el contacto del obrero con la prensa se reduce el riesgo de un accidente industrial y al ser un sistema de alimentación continua se aprovechan mejor los recursos que en este caso es una bobina de chapa metálica.

## **10. Recomendaciones.**

- Para tener una idea de diseño que satisfaga cada una de las necesidades y objetivos que requiere la prensa se recomienda realizar una caracterización de todas las posibles opciones de diseño considerando principio de funcionamiento, facilidad de construcción, materiales, costos, entre otras, de tal modo que de cada propuesta se pueda extraer características fundamentales y crear un sistema óptimo.
- Al diseñar un sistema es necesario mencionar que el primer diseño no será el más adecuado ya que siempre existen elementos o mecanismos que se pueden optimizar y con ello mejorar el funcionamiento del sistema y obtener buenos resultados que afecten de manera directa a la construcción y mantenimiento del sistema.
- Al realizar un diseño mecatrónico se debe tener en cuenta los materiales con los que se trabaja puesto que afectarán de manera directa el funcionamiento y costos teniendo en cuenta que el factor económico es de suma importancia en una empresa.

## Referencias

- Alarcón, A. (2019). Estudio y diseño de un alimentador electromecánico para prensas de matriz progresivas.
- Bruderer (2016). Alimentadores de banda. La solución correcta para cada aplicación.
- Budynas, R. y Nisbett, K. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. McGraw Hill., novena edición.
- Coil Engineering (2016). Torque servo feeder SRFF-120 servo pilot release.
- Creus, A. (2008). *Neumática e Hidráulica*. Marcombo.
- Creus, A. (2010). *Instrumentación Industrial*. 8th ed edición.
- Dorf, R. C. y Bishop, R. H. (2005). *Sistemas de Control Moderno*.
- Ferreiro, M. (2011). Diseño de una matriz progresiva para chapa.
- Golnaraghi, F. y Kuo, B. (2010). *Automatic Control Systems*. N. Repasky (ed), 9na ed. edición.
- Henli (2019). Automatic Sheet Air Feeder Pneumatic Strip Feeder – Decoiler Straightener Feeder Machine Manufacturer.
- Kinco (2019). Kinco FD Series Servo User Manual.
- Micro Automación (2017). Servomotores: control, precisión y velocidad. *AADECA Revista*, pp. 22–23.
- Nicolas, A. S. (2009). *Neumática Práctica*. pp. 456.
- Nise, N. (2014). Control Systems Engineering. *Wiley*, 34(8):765–766.
- Ogata, K., Pinto Bermúdez, E., Matía, F., Pearson, E., Hall, P., Dorf, R. C., y Pearson, R. H. B. (2010). *Ingeniería de control moderna*.
- Parr, A. (1998). *Hydraulics and Pneumatics A technician's and engineer's guide*. Butterworth-Heinemann, 2da edición.

Pérez, E. y Romero, A. (2017). *Diseño de un alimentador de chapata metálica que se adapte a la prensa de troquelado existente en la empresa de gabinetes y packs phes, con el fin de reducir los tiempos de troquelado de riel chanel en un 40 %.*

Schmid, S. K. S. R. (2014). *Manufactura, ingeniería y tecnología.*

# ANEXOS