



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**

*Comunidad educativa al servicio del Pueblo*

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA  
Y CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**Diseño e Implementación de un Sistema de Posicionamiento en una Banda  
Transportadora**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO**

**AUTOR: JUAN PABLO CHITACAPA**

**DIRECTOR: ING. CARLOS ALBERTO FLORES VÁZQUEZ MSc,  
MBA.**

**MATRIZ CUENCA**

**2020**

## DECLARACIÓN

Yo, Juan Pablo Chitacapa Chitacapa, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento; y eximo expresamente a la Universidad Católica de Cuenca y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

La Universidad Católica de Cuenca puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y la normatividad institucional vigente.



---

**Juan Pablo Chitacapa Chitacapa**

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Juan Pablo Chitacapa Chitacapa, bajo mi supervisión.



---

**Ing. Carlos Alberto Flores Vázquez MsC, MBA**

**DIRECTOR**

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Católica de Cuenca, al Ingeniero Carlos Flores tutor del proyecto de investigación, que con su dirección y conocimiento, permitió el desarrollo de este trabajo.

A la empresa Continental Tire Andina S.A. que me brindó la oportunidad de realizar el presente trabajo.

## DEDICATORIA

A Dios,

Por ser el inspirador, darme la fuerza y guiarme a lo largo de mi existencia, por el apoyo y fortaleza en momentos de dificultad y debilidad.

A mis padres,

Con todo cariño y amor, por su apoyo permanente, trabajo y sacrificio, sus valiosos consejos y amor, por su ejemplo de trabajo y honradez.

A mis hermanos (as),

Por estar siempre presentes, a todos ellos por el apoyo que me brindaron a lo largo de esta etapa de mi vida.

## INDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN.....	ii
CERTIFICACIÓN.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
DEDICATORIA.....	v
INDICE DE Contenido.....	vi
LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABLAS.....	ix
<b>RESUMEN.....</b>	<b>- 1 -</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>- 2 -</b>
INTRODUCCIÓN.....	- 3 -
CAPITULO 1.....	- 4 -
1. INTRODUCCION.....	- 4 -
1.1    Objetivos.....	- 4 -
Objetivo general.....	- 4 -
Objetivos específicos.....	- 4 -
1.2    Alcance.....	- 4 -
1.3    Justificación.....	- 5 -
CAPÍTULO 2.....	- 7 -
2. MARCO TEÓRICO.....	- 7 -
2.1    Selección de componentes.....	- 7 -
2.2    Diseño del sistema de control y eléctrico.....	- 20 -
2.3    Programación del Controlador Lógico Programable (PLC).....	- 23 -
2.4    Ensamblaje de los elementos.....	- 24 -
2.5    Parametrización de equipos.....	- 27 -
CAPITULO 3.....	- 33 -
3. PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	- 33 -
3.1    Pruebas de los elementos de control.....	- 33 -
3.2    Medida de posicionamiento de la banda transportadora.....	- 33 -
3.3    Ajuste a la medición de la banda transportadora.....	- 35 -
3.4    Registro de fallas del sistema y análisis de resultados.....	- 36 -
CONCLUSIONES.....	- 40 -
RECOMENDACIONES.....	- 41 -

## LISTA DE FIGURAS

Fig. 1 Componentes del sistema.....	- 7 -
Fig. 2 Placa del servomotor .....	- 10 -
Fig. 3 Datos técnicos generales de servomotor síncrono CFM – 400 Voltios [19].....	- 12 -
Fig. 4 Datos técnicos de servomotor síncrono CFM – 400 Voltios [19] .....	- 13 -
Fig. 5 Encoder incremental .....	- 13 -
Fig. 6 Módulo de potencia PM 340 [2].....	- 14 -
Fig. 7 Datos técnicos PM 340 6SL3210-1SE21-8UA0 [2] .....	- 15 -
Fig. 8 Cu 305 PN [7] .....	- 16 -
Fig. 9 Sensor Module Cabinet SMC20 [7].....	- 16 -
Fig. 10 CPU 315-2 PN/DP [6] .....	- 17 -
Fig. 11 Cajas pulsador seta emergencia ip65 1nc [10].....	- 18 -
Fig. 12 Pulsante Iluminado verde [11].....	- 19 -
Fig. 13 Pulsante Iluminado rojo [13].....	- 19 -
Fig. 14 Selector switch de tres posiciones [12].....	- 19 -
Fig. 15 Contactor magnético [10] .....	- 20 -
Fig. 16 Sistema de control y configuración de red.....	- 21 -
Fig. 17 Diagrama eléctrico simplificado.....	- 22 -
Fig. 18 Programación del Controlador Lógico .....	- 23 -
Fig. 19 Vista general Tubera 2.....	- 24 -
Fig. 20 Tablero de control TP 4-HMI .....	- 25 -
Fig. 21 Servomotor .....	- 25 -
Fig. 22 Pulsante de emergencia [10].....	- 26 -
Fig. 23 Sensor Sick [22].....	- 26 -
Fig. 24 Cabina del sistema de cuchilla.....	- 26 -
Fig. 25 Sistema de cuchilla .....	- 27 -
Fig. 26 Cuchilla redonda de corte .....	- 27 -
Fig. 27 Creación de proyecto nuevo .....	- 28 -
Fig. 28 Configuración de accionamiento .....	- 28 -
Fig. 29 Estructura de regulación .....	- 29 -
Fig. 30 Datos del motor.....	- 29 -
Fig. 31 Datos del motor.....	- 30 -
Fig. 32 Configuración del freno del motor .....	- 30 -
Fig. 33 Configuración del encoder .....	- 30 -
Fig. 34 Sistema de encoder .....	- 31 -
Fig. 35 Mecánica .....	- 31 -

Fig. 36 Resumen de configuración.....	- 32 -
Fig. 37 Acondicionamiento de posición real del motor .....	- 34 -
Fig. 38 Diagrama de proceso de datos .....	- 35 -
Fig. 39 Gráfica de normalidad.....	- 39 -

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Datos de placa del motor .....	- 10 -
Tabla 2 Abreviaturas de servomotor CFM.....	- 10 -
Tabla 3 Datos de placa del encoder.....	- 13 -
Tabla 4 Datos del PM 340 .....	- 14 -
Tabla 5 Características del PLC S7-300 CPU 315-2 PN/DP .....	- 17 -
Tabla 6 Lista Comprobación .....	- 33 -
Tabla 7 Valor de distancia medida .....	- 34 -
Tabla 8 Corrección de medida .....	- 36 -
Tabla 9 Fallos del sistema antes de la implementación .....	- 36 -
Tabla 10 Fallos del sistema después de la implementación.....	- 37 -
Tabla 11 análisis estadístico.....	- 38 -

## RESUMEN

Actualmente las exigencias del mercado requieren un alto nivel competitivo tanto en calidad como en producción, para lograr estos niveles es necesario optimizar los recursos disponibles. Ante esta situación se ha visto la necesidad de mejorar el proceso en una máquina denominada Tubera 2, conformada en parte por sistemas de bandas transportadoras; la misma que abastece de material a diferentes áreas de producción y se encuentra ubicada en la empresa Continental Tire Andina S.A., que es una empresa ecuatoriana dedicada a la construcción de neumáticos. En un tramo de banda transportadora de esta máquina es en donde se realiza el proceso de medición y corte del caucho para la banda de rodamiento del neumático y es en este sector donde el proceso productivo es ineficiente debido a que el sistema que utiliza para la medición y posicionamiento del material es obsoleto e inestable. El objetivo es realizar un diseño e implementación de un sistema de posicionamiento en una banda transportadora, donde se utilizará un nuevo sistema de control que deberá ser compatible con los elementos de control, adaptarse a las necesidades del sistema y cumplir con los requisitos para la producción del material. Con esta implementación se obtendrá un control de posición del material eficiente mejorando así los tiempos en producción y mantenimiento además de tener accesibilidad a repuestos, lo que permitirá cumplir con los estándares de calidad y manufactura reduciendo los costos del producto final. El presente trabajo será una investigación del tipo aplicada. El muestreo se realizará en cada una de las pruebas a realizar hasta llegar al fin deseado.

Palabras clave: CONTROL AUTOMATICO, BANDA TRANSPORTADORA, CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC), SERVODRIVE

## **ABSTRACT**

Today's market demands require a high level of competitiveness in both quality and production. To achieve these levels, it is necessary to optimize the existing resources. Because of this situation, it has been necessary to improve the process in a machine called Tubera 2, which is partly made up of conveyor belt systems; that supplies material to different production areas and it is located in Continental Tire Andina S.A., an Ecuadorian company which manufactures tires. In a section of the conveyor belt of this machine where the process of measuring and cutting the rubber for the tire tread is done and this is where the manufacturing process is considered inefficient due to the fact that the measuring and positioning system of the material is outdated and unstable. The objective is to design and deploy a positioning system on a conveyor belt, incorporating a new control system that must be supported by the control components, adjusted to the system's needs and meet the requirements for the manufacture of the material. With this deployment an efficient position control of the material will be achieved, thus improving both manufacturing and maintenance times, as well as providing access to spare parts, thereby allowing compliance with manufacturing and quality standards while reducing the costs of the finished product. This research project will be considered as an applied one. The sampling will be carried out in each of the tests until the required goal is achieved.

**KEYWORDS: AUTOMATIC CONTROL, CONVEYOR BELT, PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER, SERVO DRIVE**

## INTRODUCCIÓN

El sistema de posicionamiento en la banda transportadora consiste en un sistema de control que estará comandado por un PLC con sus respectivos módulos, un servodrive que será el encargado de controlar a un servomotor; un encoder, y más elementos para el control como son sensores, contactores, protecciones eléctricas.

El presente trabajo está conformado por tres capítulos: En el primer capítulo se trata aspectos sobre la fundamentación del problema, en el segundo capítulo se realiza la selección de componentes, el diseño del sistema y la respectiva programación para el PLC, se realiza también el respectivo ensamblaje de los elementos para posteriormente proceder con la parametrización de los equipos de control, en el tercer capítulo se realiza pruebas de funcionamiento para de acuerdo a los resultados obtenidos proceder a las calibraciones necesarias de los equipos y por último un breve análisis de los resultados obtenidos para finalmente realizar las respectivas conclusiones y recomendaciones.

Con esta implementación se obtendrá una importante reducción del tiempo perdido para la producción así como también menor cantidad de material dañado y fallas del sistema reduciendo de esta manera costos en el producto final. Al tratarse de equipos utilizados para la producción industrial, se ha tenido en cuenta que estos brinden un sistema fiable y robusto es decir que soporte las condiciones del trabajo continuo, que sean de marca de fabricante estándar que exige la empresa siendo compatibles con los sistemas de producción y calidad. El diseño del nuevo sistema y su implementación será para controlar el posicionamiento en este sector de banda transportadora donde se realizará las respectivas calibraciones de velocidad y posición durante su puesta en funcionamiento. Se contó con los recursos necesarios y el respaldo técnico para el desarrollo del presente trabajo, donde se pudo utilizar equipos nuevos, se acopló el sistema a la infraestructura existente de la banda transportadora. La metodología a emplear será una investigación aplicada que servirá para mejorar la productividad y calidad.

# CAPITULO 1

## 1. INTRODUCCION

### 1.1 Objetivos

#### ***Objetivo general***

Desarrollar un sistema de posicionamiento para una banda transportadora.

#### ***Objetivos específicos***

- Investigar sobre los diseños y componentes más adecuados para la implementación del sistema de posicionamiento de la banda transportadora.
- Diseñar e implementar el sistema de posicionamiento mediante el ensamble del sistema de control y programación del PLC.
- Evaluar y calibrar el funcionamiento del sistema de posicionamiento de la banda transportadora.

### 1.2 Alcance

La empresa Continental Tire Andina S.A., fabrica neumáticos de alta calidad en el Ecuador desde 1962 a través de sus distintas áreas de producción, está conformada por las divisiones de Manufactura, Finanzas, y Recursos Humanos. La división de Manufactura está integrada por: Casa de Fuerza, Planta 1 y Planta 2, siendo en planta 1 donde se ubica la máquina denominada Tubera 2. El presente trabajo se realiza en la máquina Tubera 2 para optimizar el sistema de posicionamiento en una banda transportadora en donde se realiza el corte de la banda de rodamiento que es utilizado para la construcción del neumático. Se describirá el nuevo sistema de control considerando el control del proceso, control de posición, precisión, mejorar tiempos en producción y mantenimiento, y compatibilidad con los elementos. El control del proceso se desarrollará en un PLC en el cual estará la programación para el control y este deberá ser compatible con los elementos del sistema, ofrecer puertos de comunicación adecuados para el intercambio de información. Para el posicionamiento se empleará un servomotor que estará controlado por un servodrive, el mismo que debe satisfacer las características de placa del motor. Este servomotor lleva incorporado un encoder (sensor de posición rotacional) que será el encargado de enviar hacia el controlador los datos de posición. Con esta implementación se obtendrá un trabajo continuo y se espera dar respuesta rápida ante fallos en el sistema lo que nos permitirá obtener un sistema eficiente y fiable.

### 1.3 Justificación

La máquina Tubera 2 ha estado en funcionamiento aproximadamente por 15 años y abastece de caucho (banda de rodamiento), componente necesario en las distintas áreas de construcción de neumáticos.

La implementación de este nuevo sistema, es importante para mejorar en calidad y costos de producción que por la inestabilidad en el sistema, la medición del largo y corte de material defectuosos que provocan el aumento de generación de scrap (material desechado).

El constante fallo de esta parte de las bandas transportadoras afecta a los distintos departamentos de producción, ya que al no estar habilitadas provoca desabastecimiento del caucho llegando a detener la producción de neumáticos encareciendo el producto final y por lo que se vuelve necesario la optimización y actualización de elementos de este sector.

Para dar solución al problema se debe reiniciar la IPC y esperar que el sistema cumpla con la funcionalidad requerida, luego de esto se realiza un análisis de los componentes que trabajen con normalidad y verificado esto se entrega la máquina para producción.

Debido a los avances tecnológicos, actualmente existen diversos equipos para realizar las tareas de control y posicionamiento, con software que permiten un mejor desarrollo de la ingeniería y monitoreo, lo cual facilita el diagnóstico en caso de falla. Debemos conocer cada uno de los elementos como son el autómatas, la CU (unidad de control) y el sistema de posicionamiento para que en caso de falla dar una óptima y pronta solución al mismo.

La implementación del nuevo sistema es exclusivo para este sector de banda transportadora y se cuenta con el apoyo económico de la empresa que proporcionará los equipos necesarios requeridos para el sistema de control, además se emplearán elementos existentes como es la parte estructural de la banda de transporte y mano de obra de planta para realizar las adecuaciones necesarias para el nuevo sistema.

Para el desarrollo del presente trabajo se ha buscado fuentes de información técnica, encontrándose trabajos similares pero con fines didácticos.

Se emplea [21], para la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE y con fines didácticos, un diseño y su implementación de un módulo para el control de velocidad, posición lineal y angular de una banda transportadora y un disco posicionador con equipos de la marca GSK y un motor de 1HP. Con este módulo los estudiantes podrán tener conocimientos sobre el funcionamiento de los servosistemas. Para nuestro sistema se empleará un motor con una mayor potencia y se realizará el control de posición lineal.

El proyecto [07] utiliza un sistema de llenado y envasado de sólidos, y en sus distintas etapas utiliza un sistema de banda de transporte que para su automatización utiliza una

plataforma de software libre de bajo costo. Este sistema es creado para fines didácticos de la ESPE extensión Latacunga. En nuestro caso al necesitar el monitoreo constante de los elementos para realizar el proceso de control necesitamos emplear un sistema de control robusto para su empleo en el área industrial.

El desarrollo e implementación del trabajo [14] es realizado para la Universidad Autónoma de Puebla-México con fines didácticos. Este sistema utiliza para su retroalimentación la información visual de una cámara web convencional y para la adquisición de los datos una tarjeta Arduino. Para el control del movimiento de nuestra banda se utilizará un encoder que será el encargado de enviar las señales de movimiento hacia el controlador.

Con fines didácticos el trabajo [15] describe la automatización de dos bandas transportadoras utilizando un PLC y que se puede seleccionar tres modos de funcionamiento siendo especificados por el usuario, en este sistema se simula la elaboración de un producto en tres pasos a lo largo de la banda transportadora. Este trabajo es para fines didácticos de la Universidad Autónoma Metropolitana-México. Para nuestro control se utilizará el sistema en dos posiciones de funcionamiento, esto es en control manual y en control automático, en este último se ajustará automáticamente la velocidad de acuerdo a la presencia de material.

Un diseño modular [9] es utilizado para manipular y clasificar piezas cilíndricas, y que en la estación de la banda transportadora emplea sensores y actuadores para la clasificación de los objetos. El trabajo es realizado para la Universidad de Las Fuerzas Armadas ESPE para prácticas de aprendizaje de los estudiantes que puedan tener una visión real de las aplicaciones en la industria. En nuestro sistema se emplea una estación de cuchilla para el respectivo corte del material de acuerdo a los requerimientos de longitud y que será controlada desde el PLC.

Se propone [18] un control de tres bandas transportadoras utilizando un control predictivo, es decir de acuerdo al comportamiento de trabajo de la planta predice los resultados y con estos realizar las acciones de control. En nuestro sistema la velocidad en el sistema a utilizar será variable dependiendo de las condiciones de velocidad de las bandas anteriores y presencia de material en la banda.

La descripción de un sistema [21] que realiza la medida de longitud del material mientras se desplaza por la cinta transportadora, esta longitud se obtiene mediante un sensor láser de velocidad. Un sistema de este tipo ha sido desarrollado y está en operación en la fábrica de Acerinox S.A. España. En nuestro sistema la medida de la longitud del material se lo realizará por medio de un encoder, este no proporciona la medida de posición pero se puede calcular partiendo de una referencia y acondicionando su posición real por medio de una unidad de longitud (LU) en el software Starter.

## CAPÍTULO 2

### 2. MARCO TEÓRICO

En la actualidad los sistemas de posicionamiento y control con servomotores son utilizados en diversas aplicaciones industriales que exigen precisión de posicionamiento, control de velocidad y sistemas fiables para un óptimo desarrollo de los productos, con software que permiten un mejor desarrollo de la ingeniería en control y monitoreo, ya que los sistemas requieren realizar cambios sobre la marcha sin alterar su funcionamiento. En el presente proyecto se utilizarán equipos que sean compatibles con los elementos existentes y de acuerdo a marcas estándar que permite la empresa.

#### 2.1 Selección de componentes

El desarrollo y funcionamiento correcto de las máquinas automatizadas dependen del correcto ensamble y calidad de las partes que la conforman.

Para la selección de los componentes describiremos brevemente el sistema anterior como estaba conformado (fig. 1).

La banda transportadora para medir y posicionar el material utilizaba un sistema de posicionamiento conformado por un encoder acoplado a una rueda dentada que está en contacto con la banda de transporte, este es el que realiza la medición de la longitud del material.

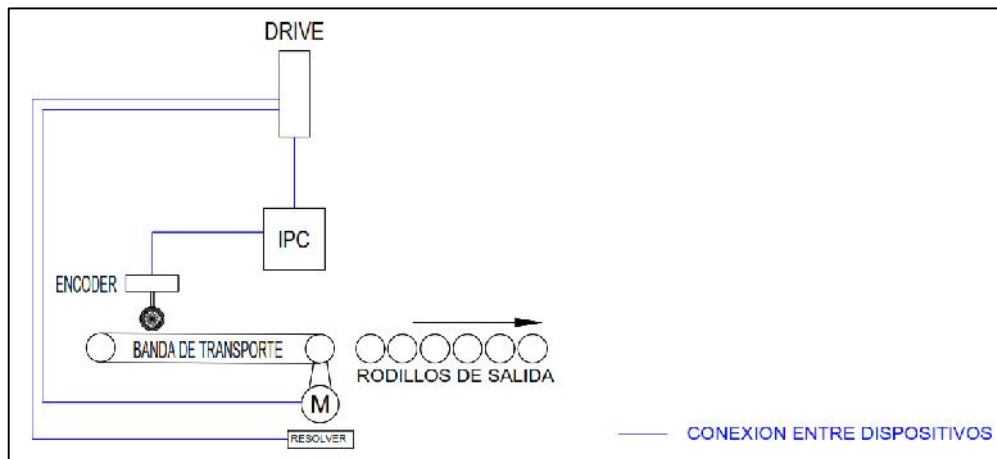


Fig. 1 Componentes del sistema  
Fuente: Autor

Al avanzar la banda transportadora, produce el giro del encoder y los pulsos de este son enviados a la IPC (Computer Personal Industrial) en donde se desarrolla la lógica de control, estos pulsos incrementan el valor del contador hasta llegar al valor prefijado y una vez alcanzado este valor, el contador envía una señal para que la banda se detenga y se realice

el corte del material a la vez de encerar el contador y estar listo para un nuevo ciclo de trabajo. El conteo es impreciso debido a las características de montaje mecánicas del encoder.

En la IPC la lógica de control se vuelve inestable por las características obsoletas del equipo y su software.

Para el movimiento de la banda transportadora se emplea un servomotor al que se encuentra acoplado un resolver que es el encargado de mantener la velocidad constante para el posicionamiento del material, este parámetro de velocidad está prefijado en el controlador.

Para el nuevo sistema se ha tomado en cuenta las siguientes consideraciones:

### 2.1.1 Servomotor

En la actualidad existen gran variedad de motores para diversas aplicaciones en el ámbito industrial, destacándose entre estos el Servomotor, que puede ser controlado en su velocidad como en su posición.

El servomotor será utilizado del sistema anterior, es un servomotor síncrono de la marca Sew, para el dimensionamiento del accionamiento correcto se toma en cuenta los datos de la banda transportadora [05] como son: masa, velocidad, longitud, inclinación, que son proporcionados por el fabricante y tiene las siguientes características:

B: Ancho de la banda	B= 32" = 0,81280m
L: Longitud de la banda transportadora	L= 453,937" = 11,53m
L <sub>T</sub> : Longitud de transporte	L <sub>T</sub> = 5m
t <sub>b</sub> : Espesor de la banda	t <sub>b</sub> = 5/64"; 0,078pulg
m <sub>1</sub> : Masa de la banda	m <sub>1</sub> = 2kg/m <sup>2</sup>
m <sub>B</sub> : Masa total de la banda	m <sub>B</sub> =18,7431kg
U <sub>T</sub> : Coeficiente de fricción sobre la mesa	U <sub>T</sub> = 0.15
U <sub>R</sub> : Coeficiente de fricción sobre rodillo	U <sub>R</sub> = 0.35
m <sub>R</sub> : Masa del rodillo	m <sub>R</sub> = 8,5kg
d <sub>R</sub> : Diámetro de rodillo	d <sub>R</sub> = 0,16280m
c: Circunferencia del rodillo	c= 0,512m
	$c = (d_R * \pi)$
	$c = (0,16280 * \pi) = 0,512m$
v: Velocidad de la banda	v= 0,80625m/s; 48,375m/min

t: Tiempo de recorrido t= 4s

$$v = \frac{d}{t}$$

$$t = 4s$$

$$v = \frac{3,2 \text{ m}}{4s} = 0,80625 \text{ m/s}$$

Características del material a transportar:

Tipo de material a transportar:	Caucho
$\gamma$ : Peso específico (caucho)	$\gamma = 950 \text{ kg/m}^3 = 0,95 \text{ t/m}^3$
d: Largo de corte del material	d= 3,225m
m1: Peso del material	m1= 8,1795kg/m
m: Peso total del material	m= 26,379kg ~ 258,68N
mt: Masa en banda (carga total)	mt=40,89kg
A: Area del material, sección transversal	A= 7172.5mm <sup>2</sup> = 71,725cm <sup>2</sup>

Necesitamos conocer los siguientes parámetros:

Mb: Par del motor

Nb: Velocidad del motor

FL: Fuerza de transporte (Peso)

vL: Velocidad de transporte (m/s) = v

d1: Diámetro del rodillo = d<sub>R</sub>

$\eta$ : Rendimiento

P: Potencia

Par del motor (torque)

$$M = \frac{d1}{2} * \frac{F}{\eta} \quad (1) [23]$$

$$M = \frac{0,162m}{2} * \frac{258,68N}{0,9} = 23,281N = 23281m$$

Velocidad del motor en rpm

$$N = \frac{60}{\pi} * \frac{v}{d1} \quad (2) [23]$$

$$N = \frac{60}{\pi} * \frac{0,806m/s}{0,162m} = 94,972 \text{ r1}$$

Potencia

$$P = \frac{\pi}{3} \frac{M}{r} * N \quad (3) [23]$$

$$P = \frac{\pi}{300} * 23281m * 94,972r = 23153,3 W$$

Los datos de placa del motor se muestran en la tabla 1:

Tabla 1 Datos de placa del motor

SEW EURODRIVE		
Typ CFM90L/BR/TF/AS1H/SB50		U max 400V
Mo 21,00 Nm	Io 14,40 A	Getriebe r/min 3000
nN 3000 r/min	I <sub>max</sub> 58,00 A	f N 150Hz
IM B5	Bremse V 230 AC	

Fuente: Autor



Fig. 2 Placa del servomotor

Fuente: Autor

Las abreviaturas utilizadas se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 2 Abreviaturas de servomotor CFM

$n_N$	Velocidad nominal
$M_0$	Par de parada (Torque)
$I_0$	Corriente de parada
$M_{pk}$	Par límite máximo del servomotor

$I_{max}$	Corriente de motor máxima admisible
$M_{stat}$	Torque estático
$M_{dyn1}$	Torque dinámico
$M_{max}$	Torque máximo
$J_{bmot}$	Momento de inercia del motor freno
$M_{B1}$	Par de frenado estandar
$m_{mot}$	Masa del motor
$m_{bmot}$	Masa del motor de freno

Fuente: Autor

El momento (torque) del servomotor:

Datos:

- m: masa total
- $d_o$ : diámetro del rodillo
- $\mu_R$ : Coeficiente de fricción de rodillos
- v: Velocidad de desplazamiento
- $a_{max}$ : Máxima aceleración
- t: Tiempo de ciclo
- $\eta_L$ : Eficiencia de carga
- a: Aceleración
- i: Relación de transmisión

### Máximo par de entrada (Torque) M:

Torque estático:

$$M_{S_i} = \frac{(m \cdot g \cdot \mu_R) \cdot \frac{d_o}{2}}{\eta_L} \quad (4) [19]$$

$$M_{S_i} = \frac{(5,6 \cdot 9,8 \cdot 0,3) \cdot \frac{0,1}{2}}{0,9} = 14,91 \text{ N}$$

Torque dinámico: Con aceleración

$$M_{d1} = \frac{(m \cdot a) \cdot \frac{dU}{2}}{\eta_L} \quad (5) [19]$$

$$M_{d1} = \frac{(5,6 \cdot 0,2) \cdot \frac{0,1}{2}}{0,9} = 0,969 \text{ N}$$

Torque dinámico: Con desaceleración

$$M_{d2} = m \cdot a \cdot \frac{dO}{2} \cdot \eta_L \quad (6) [19]$$

$$M_{d2} = 53,619 \cdot 0,201 \cdot \frac{0,1}{2} \cdot 0,9 = -0,783 \text{ N} \quad (\text{Negativo porque es desaceleración})$$

Torque máximo en la aceleración

$$M_{m1} = M_S + M_{d1} \quad (7) [19]$$

$$M_{m1} = 14,91 \text{ N} + 0,969 \text{ N} = 15,87 \text{ N}$$

Torque máximo en la desaceleración

$$M_{m2} = M_S + M_{d2} \quad (8) [19]$$

$$M_{m2} = 14,91 \text{ N} - 0,783 \text{ N} = 14,27 \text{ N}$$

Se toma el valor del torque máximo durante la aceleración y tenemos que el motor es el adecuado para la banda transportadora.

CFM servomotors, 400 V system voltage

Motor type	M <sub>0</sub> [Nm]	M <sub>pk</sub> [Nm]	J <sub>Mot</sub> [10 <sup>-4</sup> kgm <sup>2</sup> ]
CFM71B	6	16.5	4.89
CFM71M	6.5	21.5	6.27
CFM71L	9.5	31.4	9.02
CFM90S	11	39.6	17.4
CFM90M	14.5	52.2	22.3
CFM90L	21	75.6	32.1
CFM112S	23.5	92.3	60.4
CFM112M	31	108.5	88.2
CFM112L	45	157.5	128
CFM112H	68	238	190

Fig. 3 Datos técnicos generales de servomotor síncrono CFM – 400 Voltios [19]  
Fuente: Synchronous Servomotors

12.2 Technical data of CFM synchronous servomotors; 400 V system voltage

$n_p$ (rpm)	Motor	$M_0$ Nm	$I_0$ A	$M_{DVR}$ Nm	$I_{max}$ A	$M_{DVR}$ Nm	$I_{DVR}$ A	$J_{mot}$ $10^{-4}$ kgm <sup>2</sup>	$J_{mot}$ kgm <sup>2</sup>	$M_{B1}$ Nm	$M_{B2}$ Nm	$W_{max1}$ kJ	$W_{max2}$ kJ
2000	CFM71S	5	2.2	16.5	8.8	7.3	3.2	4.59	6.72	10	5	18	22
	CFM71M	6.5	3	21.5	12	9.4	4.2	6.4	8.13	14	7	15	20
	CFM71L	9.5	4.2	31.4	16.8	13.8	6.1	9.21	10.94	14	10	15	18
	CFM90S	11	4.9	39.6	19.7	16	7.1	10.2	22	20	14	17	24
	CFM90M	14.5	6.9	52.2	28	21	10	23.4	27.2	40	20	10.5	19.5
	CFM90L	21	9.9	75.6	40	37.5	14.4	30.7	37.5	40	28	10.5	17
	CFM112S	23.5	10	82.5	40	34	14.5	30.9	34.2	55	28	37	46
	CFM112M	31	13.5	108.3	64	45	19.6	38.9	104.2	90	40	18	44
	CFM112L	45	20	157.5	80	65	29	52.8	144.1	90	55	18	32
	CFM112H	66	30.5	238	122	95	42.6	188.7	204	90	65	18	32
	CFM71S	5	3.3	16.5	13.2	7.3	4.8	4.59	6.72	10	5	14	20
	CFM71M	6.5	4.3	21.5	17.2	9.4	6.2	6.4	8.13	14	7	11	18
CFM71L	9.5	5.2	31.4	25	13.8	9	9.21	10.94	14	10	11	14	
CFM90S	11	7.3	39.6	29	16	10.6	16.2	22	28	14	10	20	
CFM90M	14.5	10.1	52.2	40	21	14.6	23.4	27.2	40	20	4.5	15	
CFM90L	21	14.4	75.6	58	32.5	21	33.7	37.5	40	28	4.5	10	
CFM112S	23.5	15	82.5	60	34	22	30.9	34.2	55	28	10	36	
CFM112M	31	20.5	108.3	82	45	30	38.9	104.2	90	40	7	32	
CFM112L	45	30	157.5	120	65	44	52.8	144.1	90	55	7	18	
CFM112H	66	45	238	172	95	60	80.7	204	90	65	7	18	

Fig. 4 Datos técnicos de servomotor síncrono CFM – 400 Voltios [19]  
Fuente: Synchronous Servomotors

2.1.2 Encoder

Para la medición de la posición y velocidad se utiliza un encoder incremental.

El servomotor posee un encoder multigiro hiperface, el mismo será sustituido por un encoder incremental Siemens modelo 6FX2001-3GC50 con interfaz RS 422 (TTL), ya que el drive a utilizar no maneja el protocolo de comunicación hiperface.

En Sinamics, los sistemas de medida se alimentan a través del convertidor o de los Sensor Modules [1].



Fig. 5 Encoder incremental  
Fuente: Autor

Tabla 3 Datos de placa del encoder

Encoder incremental	
Modelo	6FX2001-3GC50

Voltaje	DC 5V +/- 10%
Consumo máx.	150 mA
Resolución	2500

Fuente: Autor

### 2.1.3 Servodrive

El servodrive a utilizar es de la familia de accionamientos Sinamics, pertenece a la gama TIA Portal (Totally Integrated Automation) de Siemens, que ofrecen tareas de control para ejes individuales con exactitud y rapidez, también cuenta con una interfaz de encóder integrada. Está conformado por:

#### Módulo de poder (PM 340).

Un convertidor módulo de potencia PM340 de la serie 6SL3210-1SE21-8UA0 con rango de potencias de 0,12 kW a 90,0 kW.



Fig. 6 Módulo de potencia PM 340 [2]  
Fuente: Sinamics S120 AC Drive

Es un convertidor de frecuencia que suministra la energía para el motor y con las siguientes características:

Tabla 4 Datos del PM 340

Sinamics S120 Convertidor módulo de potencia PM340	
Entrada	380 – 480V 3AC / 21.9A

Salida	3AC 18A (7,5KW)
Frecuencia	50/60HZ

Fuente: Autor

Tensión de red 3 AC 380 V a 480 V ±10%						
PM340	6SL3210-	1SE16-0UA0	1SE17-7UA0	1SE21-0UA0	1SE21-8AA0	1SE22-5UA0
PM340 con filtro de red integrado	6SL3210-	1SE16-0AA0	1SE17-7AA0	1SE21-0AA0	1SE21-8UA0	1SE22-5AA0
Tamaño		FSB	FSB	FSB	FSC	FSC
Intensidad asignada de salida $I_n$	A	5,9	7,7	10,2	18	25
Intensidad con carga básica $I_H$	A	5,2	6,8	9,1	14	21
Intensidad de salida con servicio S6 (40%) $I_{SE}$	A	6,4	8,3	10,8	19,6	27,8
Intensidad máx. salida $I_{máx}$	A	11,8	15,4	20,4	26,4	38
Potencia asignada basada en $I_n$	kW	2,2	3	4	7,5	11
Potencia asignada basada en $I_H$	kW	2,2	3	4	5,5	7,5
Frecuencia de pulsación asignada	kHz	4	4	4	4	4
Pérdidas	kW	0,14	0,16	0,18	0,24	0,30
Consumo de aire de refrigeración	m³/s	0,009	0,009	0,009	0,038	0,038
Nivel de presión acústica	dB (A)	< 50	< 50	< 50	< 60	< 60
Alimentación de 24 V DC para Control Unit	A	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Intensidad asignada de entrada <sup>1)</sup> - con bobina de red - sin bobina de red	A	5,6 6,7	7,5 8,9	9,8 12,4	17,1 23,1	24,6 32,6
Fusibles UL Class J Intensidad asignada Intensidad de cortocircuito asignada SCCR	A kA	10 65	12 65	15 65	25 65	35 65
Fusibles NH Intensidad asignada	A	3NA3 803 10	3NA3 805 16	3NA3 805 16	3NA3 810 25	3NA3 814 35
Designación de tipo del interruptor automático EN 60947 Intensidad asignada	A	3RV1021-1KA10 9 - 12,5	3RV1021-4AA10 11 - 16	3RV1021-4BA10 14 - 20	3RV1031-4EA10 22 - 32	3RV1031-4FA10 28 - 40
Valor de la resistencia de freno externa	$\Omega$	> 160	> 160	> 160	> 56	> 56

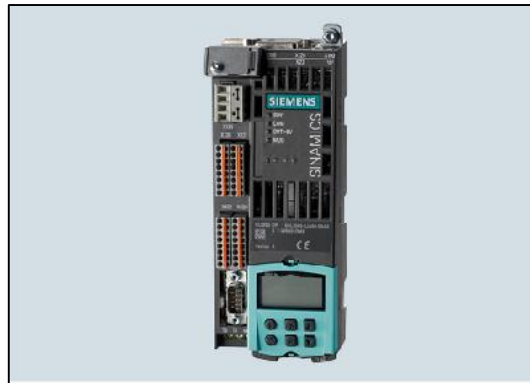
Fig. 7 Datos técnicos PM 340 6SL3210-1SE21-8UA0 [2]

Fuente: Sinamics S120 AC Drive.

### Unidad de control (CU 305 PN).

La unidad de control pertenece a la familia Sinamics S110, es del tipo CU305 PN es donde se realizaran las funciones de comunicación, control, y regulación del PM340 y que forman con este un accionamiento individual. Dispone de una interfaz de comunicación integrada del tipo profinet con 2 puertos tipo RJ45 y un conector Drive-Cliq para comunicarse con los respectivos dispositivos de control para el

intercambio de información. Su puesta en marcha y diagnóstico se lo realiza desde el software STARTER se puede integrar con el software de programación Step 7.



*Fig. 8 Cu 305 PN [7]  
Fuente: Sinamics S110.*

#### **2.1.4 Sensor Module Cabinet SMC20**

El Sensor Module Cabinet – Mounted SMC20 se necesita para procesar las señales provenientes del encóder incremental y enviarlas a la Unidad de Control vía drive-cliq, información sobre la velocidad, posición real [2].

La interfaz Drive–Cliqu es un sistema de comunicación propio de Siemens.



*Fig. 9 Sensor Module Cabinet SMC20 [7]  
Fuente: Convertidores Sinamics para accionamientos monoaje.*

#### **2.1.5 Controlador Lógico Programable (PLC)**

El dispositivo para realizar la tarea de control es un PLC (Controlador de memoria programable) Siemens Simatic S7-300 CPU.

Entre las principales características de este controlador tenemos:

Tabla 5 Características del PLC S7-300 CPU 315-2 PN/DP

Simatic S7-300 CPU 315-2 PN/DP	
Serie	6ES7 315-2EH14 0AB0
Voltaje nominal	24 V DC
1. <sup>a</sup> Interfaz de comunicación	MPI/Profibus DP
2. <sup>a</sup> Interfaz de comunicación	Ethernet/Profinet
Software de configuración	Step 7V5.5
Versión de software para programación	V5.5 o superior

Fuente: Autor

PG (Unidad de programación) [3].

Step 7: Lenguaje de programación que permite crear programas de usuario para controladores SIMATIC S7 [3].



Fig. 10 CPU 315-2 PN/DP [6]

Fuente: Totally Integrated Automation y Micro Automation.

El PLC se comunica con una estación de sistema de periferia descentralizada del tipo ET 200S que procesa los datos para los módulos de terminales, en donde se encuentran las entradas y salidas del proceso.

La comunicación entre estos dispositivos se lo realiza por Profibus DP (periferia descentralizada) que es un sistema de comunicación potente por su gran velocidad de transferencia de datos.

Físicamente el PROFIBUS DP es una red eléctrica basada en un cable unifilar apantallado o una red óptica basada en un cable de fibra óptica [4].

### 2.1.6 Elementos de control

**Sensor:** Durante la realización del proceso se necesita de elementos que estén capacitados para detectar movimientos u objetos variando sus propiedades y enviar la magnitud de esta variación hacia el controlador lógico.

#### **Sensor Sick**

Tipo: WSE9L-3P2437

Detección: Emisor – receptor

Tensión de alimentación: 10V DC ... 30V DC

Consumo de corriente 30mA

#### **Pulsante de emergencia**

Para la interrupción instantánea del proceso en caso de situaciones involuntarias, está dentro de la lógica como condición Línea ON, del sistema del controlador PLC



*Fig. 11 Cajas pulsador seta emergencia ip65 1nc [10]  
Fuente: Siemens AG 2009-2020.*

#### **Pulsantes**

Empleados para el inicio del proceso (Start) y el restablecimiento de fallas del sistema (Reset), al pulsar cierra el circuito de alimentación para alimentar la bobina del contactor magnético.



*Fig. 12 Pulsante Iluminado verde [11]  
Fuente: Siemens AG 2009-2020.*



*Fig. 13 Pulsante Iluminado rojo [13]  
Fuente: Siemens AG 2009-2020.*

### **Selector de tres posiciones**

Permite seleccionar los modos de selección del trabajo como: Manual, Apagado, Automático



*Fig. 14 Selector switch de tres posiciones [12]  
Fuente: Siemens AG 2009-2020.*

## Contactor magnético

Para cerrar el circuito automáticamente cuando las condiciones de trabajo sean las correctas.



*Fig. 15 Contactor magnético [10]  
Fuente: Siemens AG 2009-2020.*

## 2.2 Diseño del sistema de control y eléctrico

El sistema de control y eléctrico se detalla a continuación:

### 2.2.1 Sistema de control y configuración de red

En la figura 16 se visualiza un esquema del sistema de control y la respectiva configuración de la red en donde el intercambio de información será por comunicación Profinet y se lo realizará desde el puerto P1 del PLC (1) hacia el Scalence X206-1 (4) que es un concentrador de red ó Switch de 6 puertos destinados para la comunicación con los elementos del sistema y desde el puerto #5 de este concentrador se comunicará con el Simamics S110 (5), en donde se encuentran albergados el Módulo de poder y la Unidad de Control, el módulo de poder se encargará de suministrar el voltaje adecuado para controlar al servomotor (6), y en la Unidad de control es en donde se guardará la configuración del programa del usuario y es aquí donde se realizará la lógica de control para el servomotor. De igual manera por comunicación Profinet a la Unidad de Control se conecta el SMC20 (7) que se encarga de transferir a esta los datos de posición y velocidad del encoder (8).

Se utiliza también comunicación Profibus del PLC para el intercambio de información con los módulos ET 200S (3), (4), que es en donde se procesan las señales adquiridas y requeridas por los actuadores.

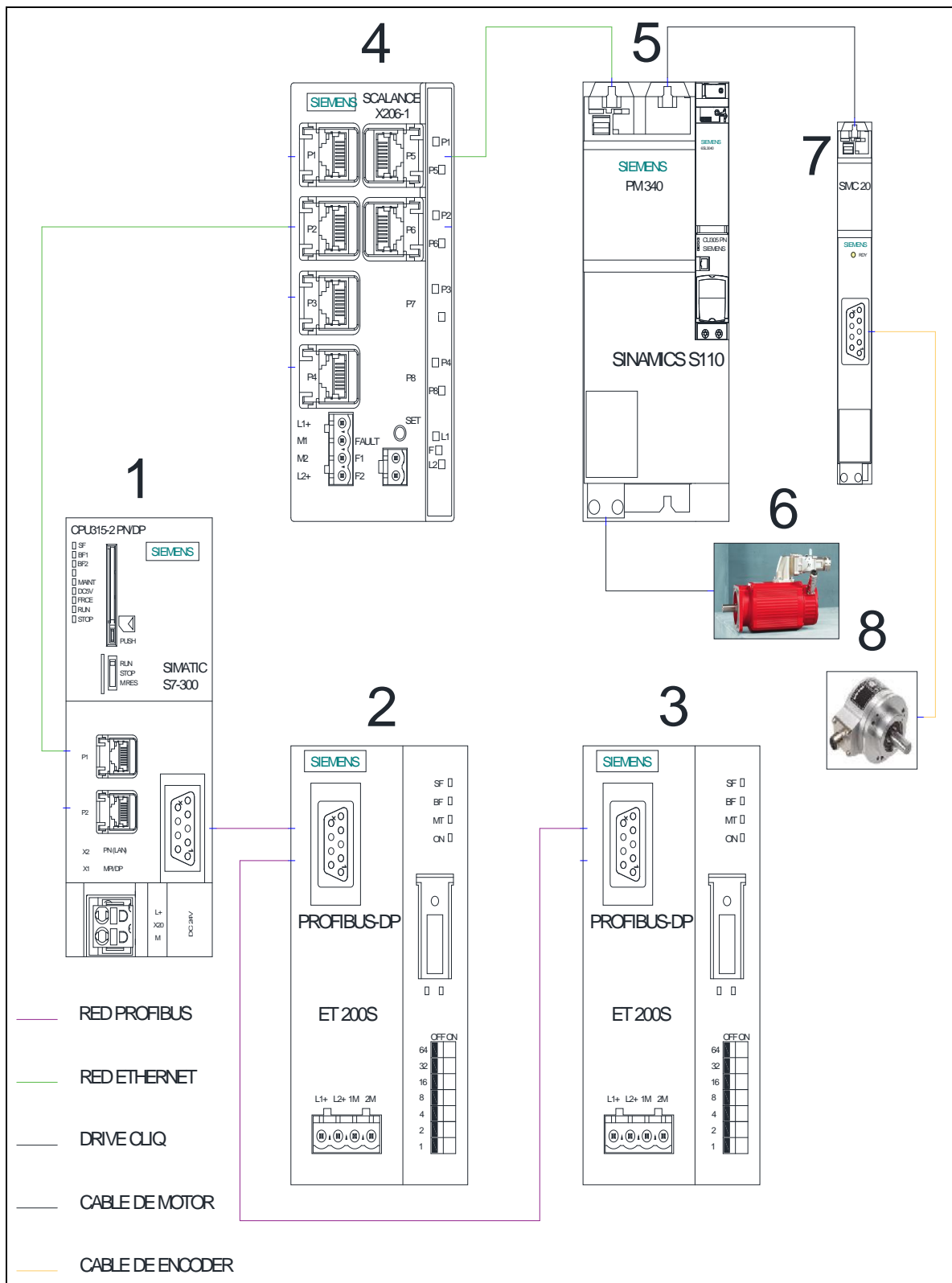


Fig. 16 Sistema de control y configuración de red  
 Fuente: Autor

## 2.2.2 Diagrama eléctrico

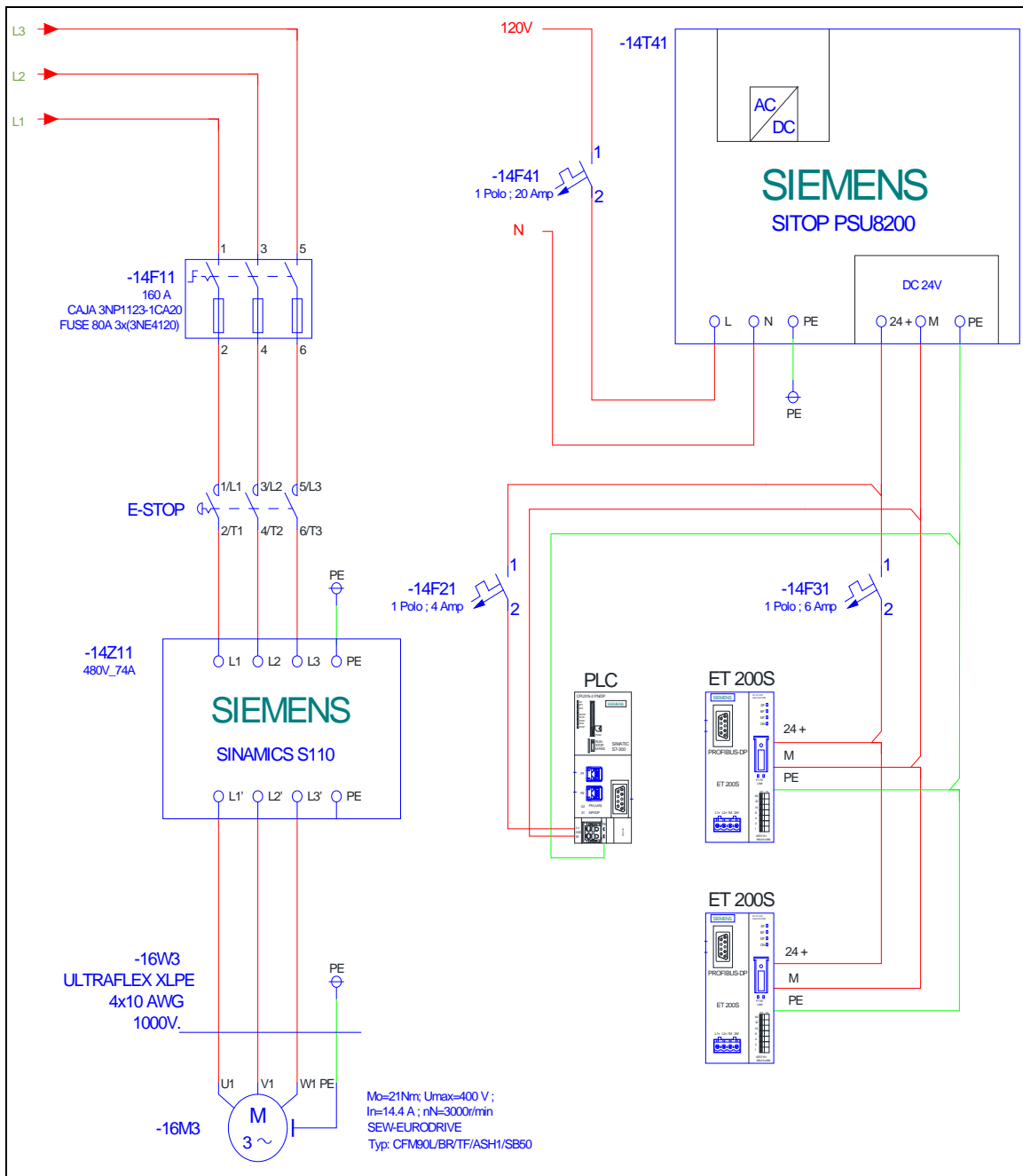


Fig. 17 Diagrama eléctrico simplificado  
Fuente: Autor

### 2.3 Programación del Controlador Lógico Programable (PLC)

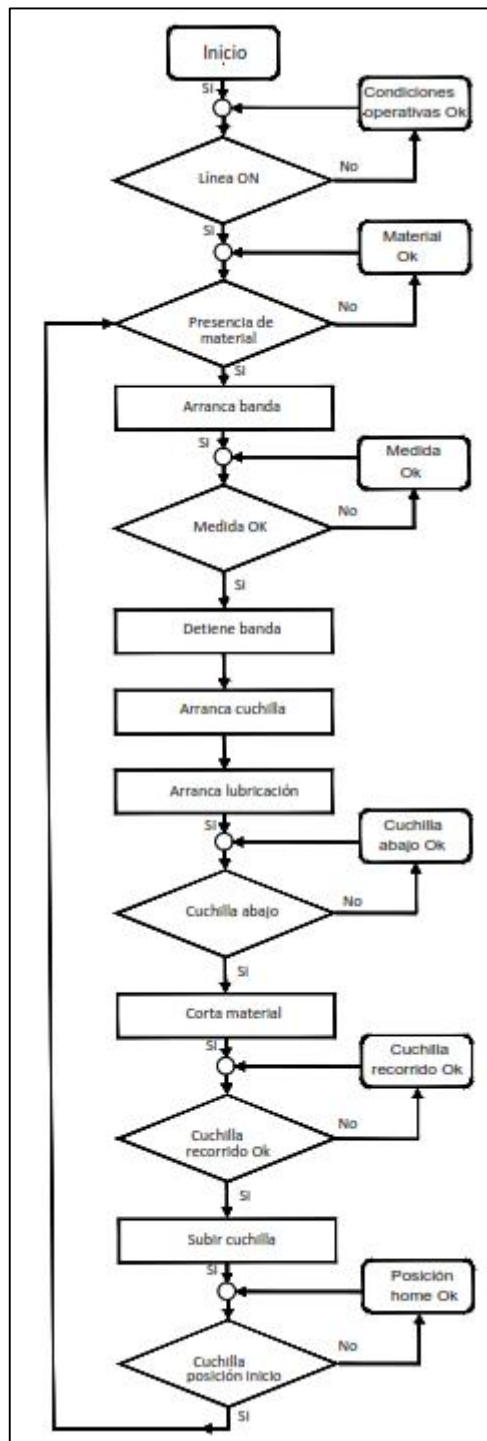


Fig. 18 Programación del Controlador Lógico Programable  
Fuente: Autor

## 2.4 Ensamblaje de los elementos

La ubicación del tablero y los elementos que conforman el sistema de banda transportadora están distribuidos de acuerdo al esquema, figura 19 en donde se muestra una vista general de la máquina Tubera 2:

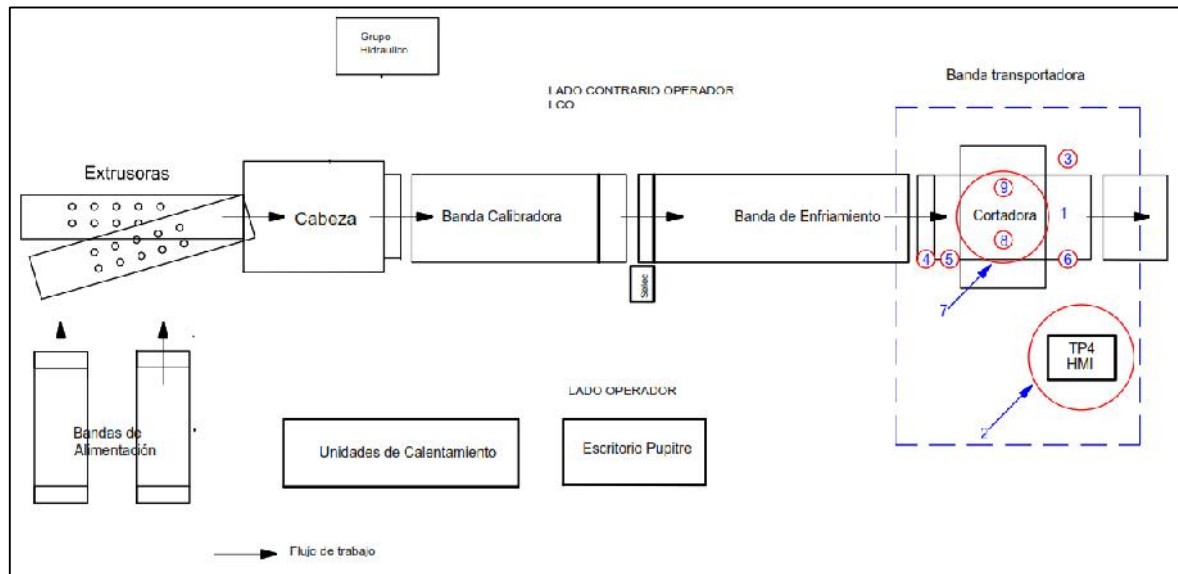


Fig. 19 Vista general Tubera 2

Fuente: Autor

Donde se visualiza:

- (1) Banda transportadora.
- (2) Tablero de control TP4-HMI (interfaz hombre-máquina) que es donde se albergan los elementos de control.

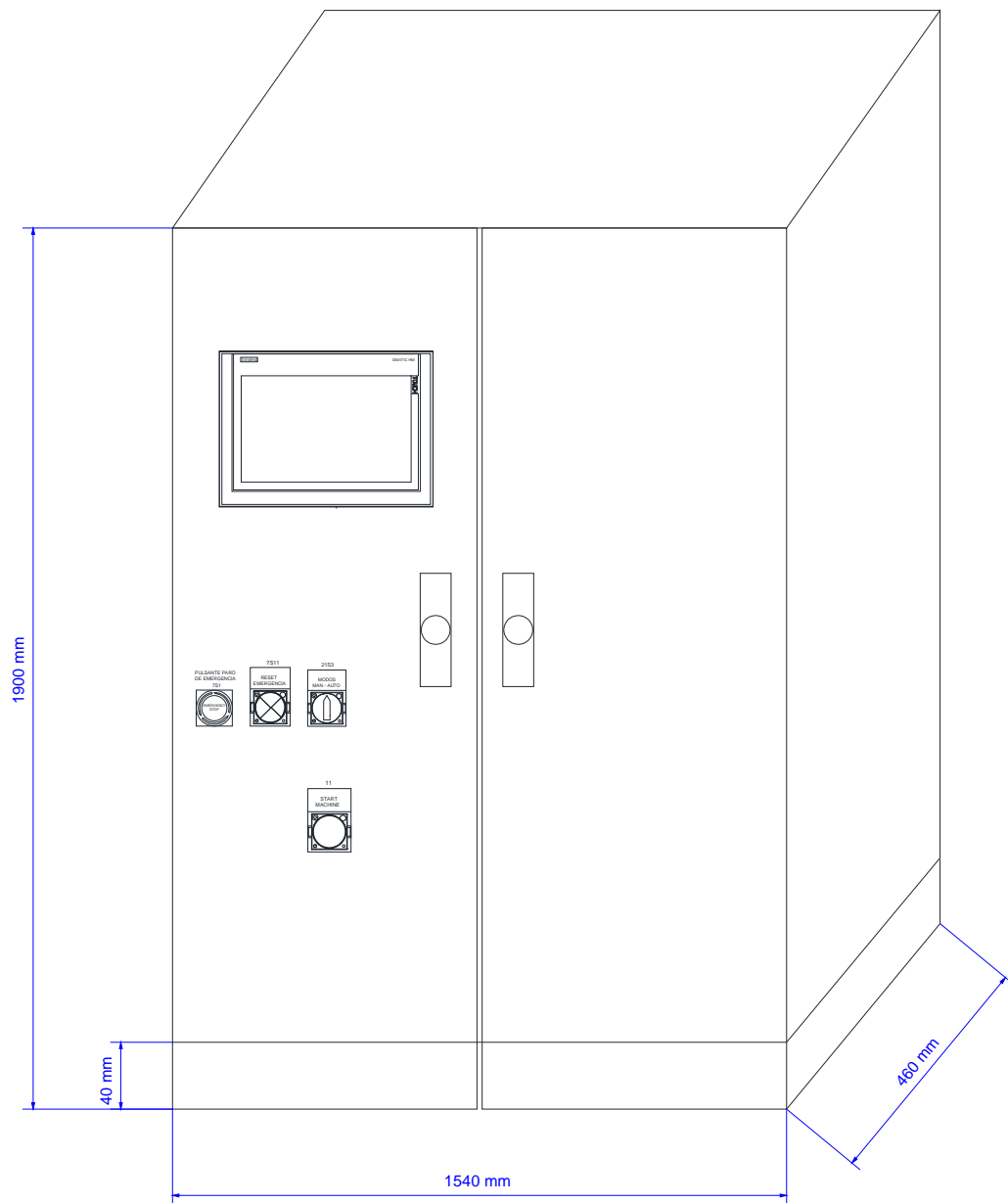


Fig. 20 Tablero de control TP 4-HMI  
Fuente: Autor

(3) Servomotor.



Fig. 21 Servomotor  
Fuente: Synchronous Servomotor [09]

(4) Pulsante de emergencia.



*Fig. 22 Pulsante de emergencia [10]  
Fuente: Siemens AG 2009-2020.*

(5) y (6) Sensores Sick, detectan presencia de material.



*Fig. 23 Sensor Sick [22]  
Fuente: Sick data sheet*

(7) Sistema de cuchilla para corte de material.



*Fig. 24 Cabina del sistema de cuchilla  
Fuente: Autor*

(8) y (9) Sensores de posición de cuchilla.



Fig. 25 Sistema de cuchilla  
Fuente: Autor



Fig. 26 Cuchilla redonda de corte  
Fuente: Autor

## 2.5 Parametrización de equipos

Para la parametrización del convertidor Sinamics debemos establecer la comunicación a través del software Starter desde la PC hacia la CU305.

Inicializamos el software Sinamics Starter y en Proyecto seleccionamos Nuevo dándole un nombre y una ubicación donde se guardará el proyecto como se visualiza en la siguiente figura:

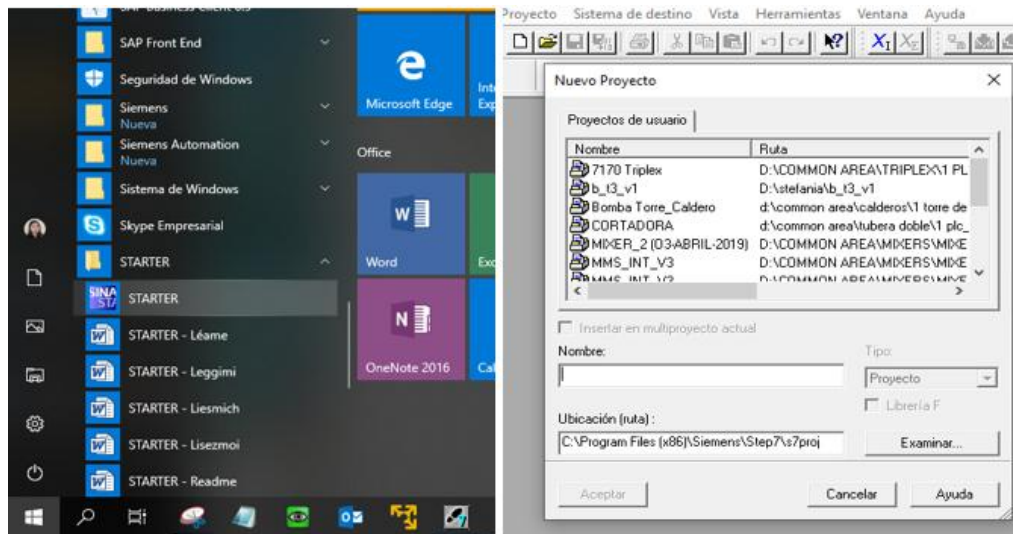


Fig. 27 Creación de proyecto nuevo  
Fuente: Autor

Se crea un proyecto con su respectivo nombre y en la izquierda de la ventana en el menú seleccionamos “Insertar unidad de accionamiento individual” y en la pestaña Unidad de accionamiento/dirección de bus configuramos un nuevo accionamiento seleccionando la familia y tipo en nuestro caso Sinamics y tipo de dispositivo el Sinamics S110, el equipo lo seleccionamos en Variante la CU305 PN, también se introducirá en Acceso online por IP y la dirección de red, en la pestaña General se llenará el nombre de la unidad de control y opcional el autor y comentarios, presionamos Aceptar. Se crea el nuevo equipo S110\_CU305\_PN y procedemos a seleccionar “Configurar unidad de accionamiento” en donde se abre una ventana de diálogo de configuración y haciendo doble Clic en el campo “Propiedades del accionamiento” colocamos el nombre del accionamiento presionamos Adelante y en cada uno de los campos siguientes como se muestra a continuación:

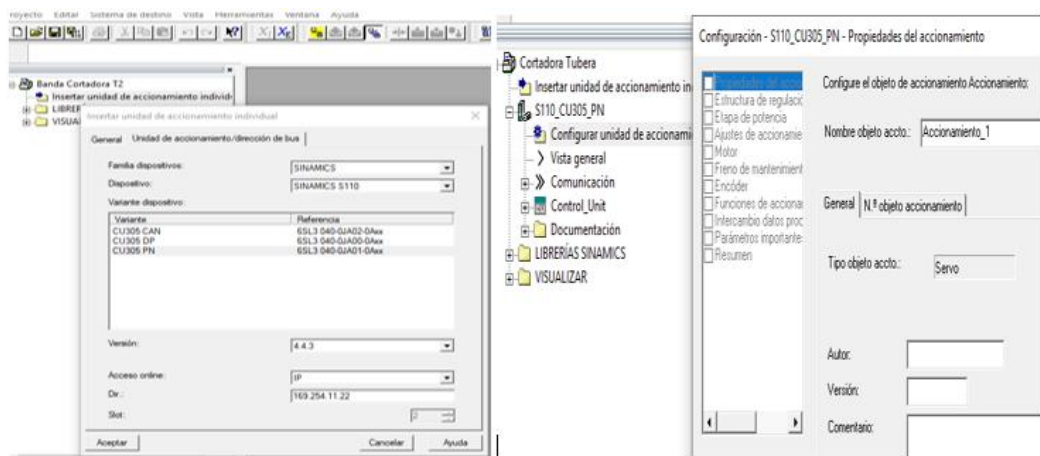


Fig. 28 Configuración de accionamiento  
Fuente: Autor

En los campos se ingresarán los datos técnicos y especificaciones de los respectivos equipos a utilizar, en el campo Estructura de regulación seleccionamos posicionador simple ya que utilizaremos un encoder para la medición.

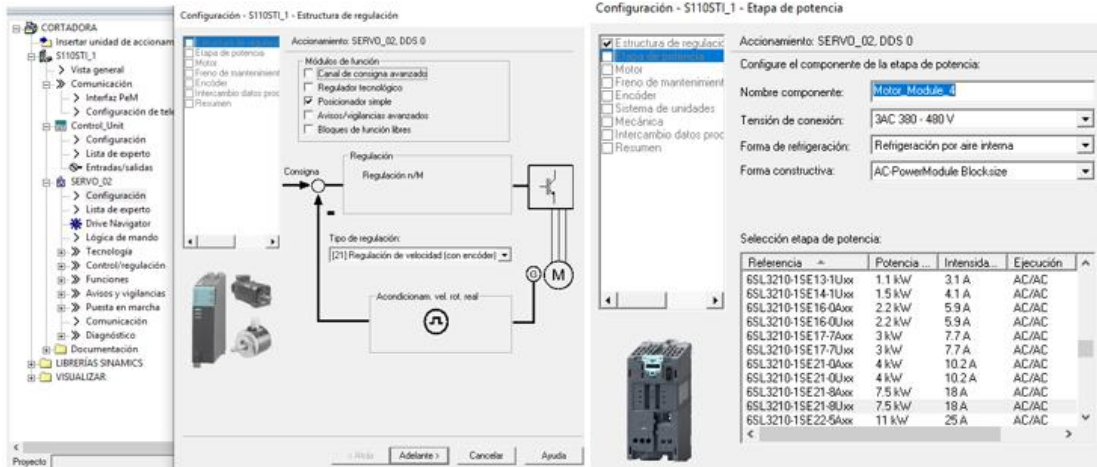


Fig. 29 Estructura de regulación  
Fuente: Autor

En la figura 30 en motor seleccionamos: Introducir datos del motor, en Tipo de motor: [2] Motor sincrónico (..), en Datos del motor elegimos Introducción de datos según la hoja de datos y llenamos los campos con los datos de placa del motor.

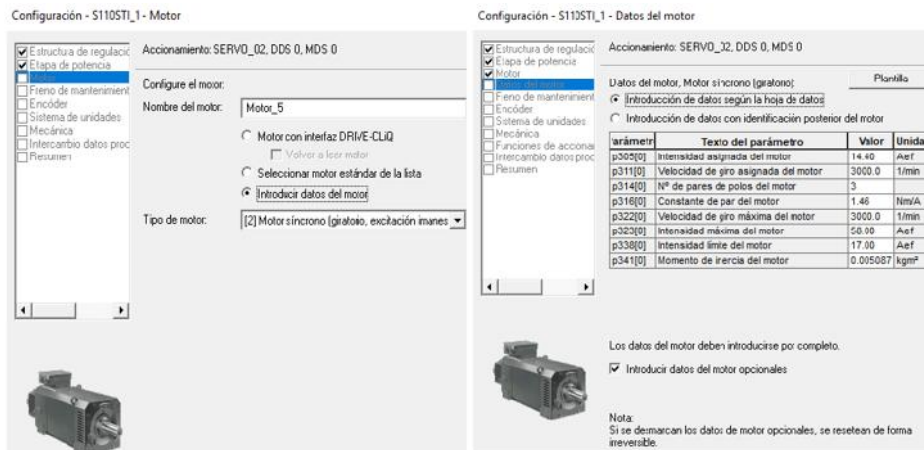


Fig. 30 Datos del motor  
Fuente: Autor

Configuración - S110STL1 - Datos de motor opcionales

Accionamiento: SERVO\_02, DCS 0, MDS 0

Datos del motor, Motor sincrónico (giratorio):

Parámetro	Texto del parámetro	Valor	Unidad
p307[D]	Potencia asignada del motor	0.30	kW
p312[D]	Par asignado del motor	0.30	Nm
p318[D]	Intensidad a rotor para el motor	0.30	Ae/f
p319[D]	Par a rotor parado del motor	0.30	Nm
p320[D]	Corriente magnetizante/corriente de arranque	0.200	Ae/f
p125[D]	Identificación de posición para el motor 1*	0.200	Ae/f
p326[D]	Factor de corrección de par de vuelco del motor	60	%
p327[D]	Ángulo de carga óptimo del motor	90.0	°
p320[D]	Constante de par de reluctancia del motor	0.30	mH
p129[D]	Identificación de posición para el motor 2	0.30	Ae/f
p142[D]	Momento de inercia Relación entre total y d	1.300	
p148[D]	Velocidad de actuación de desbloqueo	4278.6	1/min
p352[D]	Resistencia del cable	0.00000	ohmios
p353[D]	Inductancia serie de motor	0.300	mH
p391[D]	Adecuación de regulador de intensidad Pw	0.30	Ae/f
p392[D]	Adecuación de regulador de intensidad Punto	0.30	Ae/f
p393[D]	Adecuación de regulador de intensidad Gb	100.00	%

No es necesario que los datos opc. del motor se introduzcan por completo.  
Nota: Los datos desconocidos se deben ajustar al valor predeterminado.  
Si desea resetear todos los datos opcionales, desactive su introducción en la página de los datos del motor.

Fig. 31 Datos del motor

Fuente: Autor

Configuración - S110STL1 - Datos del esquema equivalente

Accionamiento: SERVO\_02, DDS 0, MDS 0

Repr. datos esquema equivalente: Sistema de unidades físicas

Datos del motor, Motor sincrónico (giratorio):

Parámetro	Texto del parámetro	Valor	Unidad
p350[D]	Resistencia estática en frío del motor	0.28095	ohmios
p356[D]	Inductancia dispersa del estator del motor	5.63272	mH

Configuración - S110STL1 - Cálculo de los datos del motor/regulador

Accionamiento: SERVO\_02, DDS 0, MDS 0

Cálculo de los datos del motor/regulador

Sin cálculo

Cálculo completo sin datos del esquema equivalente

Fig. 32 Configuración del freno del motor

Fuente: Autor

Configuración - S110STL1 - Freno de mantenimiento del motor

Accionamiento: SERVO\_02, DDS 0

Configuración freno de mantenimiento:

No hay freno de mantenimiento en el motor

Secuenciador de freno ampliado

Tipo de módulo de freno:

Mando de freno con evaluación de diagnóstico

En Encoder elegimos Encoder 1 e introducimos los datos en donde ingresaremos los datos técnicos.

Configuración - S110STL1 - Encoder

Accionamiento: SERVO\_02, DDS 0, MDS 0

¿Qué encoder desea utilizar?

Encoder 1  Encoder 2

Encoder 1

Evaluación encoder: [dropdown]

Nom. encoder: Encoder 3

Encoder con interfaz DRIVE-CLiQ  Volver a leer encoder

Selección encoder est. lista  con la referencia

Introducir datos  Datos encod

Tipo de encoder	Código
2348HTL A/B	3007
2348TTL A/B	3008
1324HTL A/B unipolar	3009
2048HTL A/B unipolar	3011
2348TTL A/B R, con Sense	3020
SSI, monovuelta, 24V	3081
SSI, monovuelta 4055, 24V	3082
4396 HTL A/B, SSI, monovuelta	3090
Personalizado	9999

Detalles

Fig. 33 Configuración del encoder

Fuente: Autor

Configuración - S110STL1 - Sistema de unidades

Accionamiento: SERVO\_02, DCS 0

Sistema de encoder para regulación de posición:

Encoder 3

La selección del sistema de encoder para la regulación de posición y la resolución de posición (engranajes, etc.) depende del uso de los datos de accionamiento (DDS).

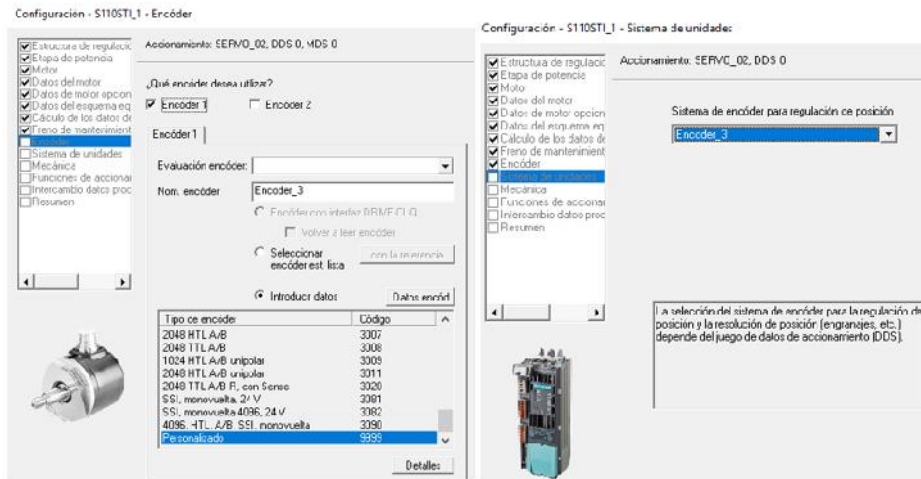


Fig. 34 Sistema de encóder  
Fuente: Autor

A continuación se ingresan los datos que nos servirán para el control y monitoreo de la posición del motor.

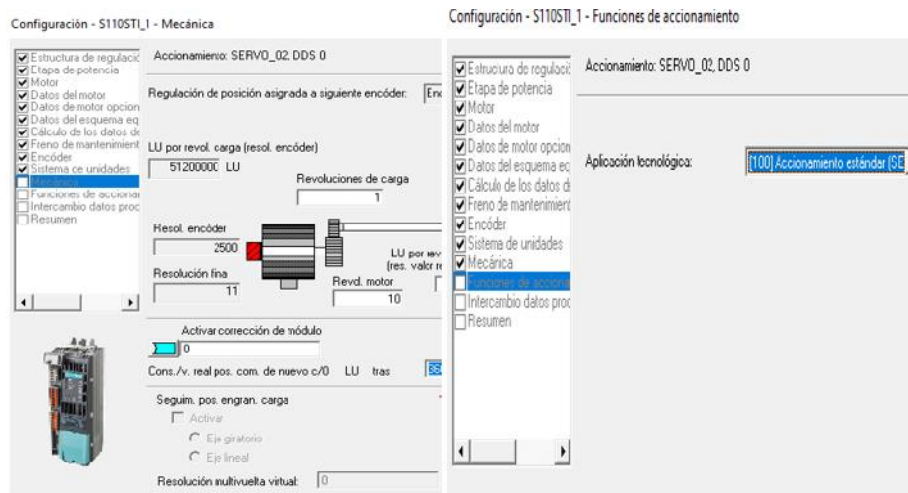


Fig. 35 Mecánica  
Fuente: Autor

Seleccionamos la fuente de consigna como Telegrama PROFIdrive.

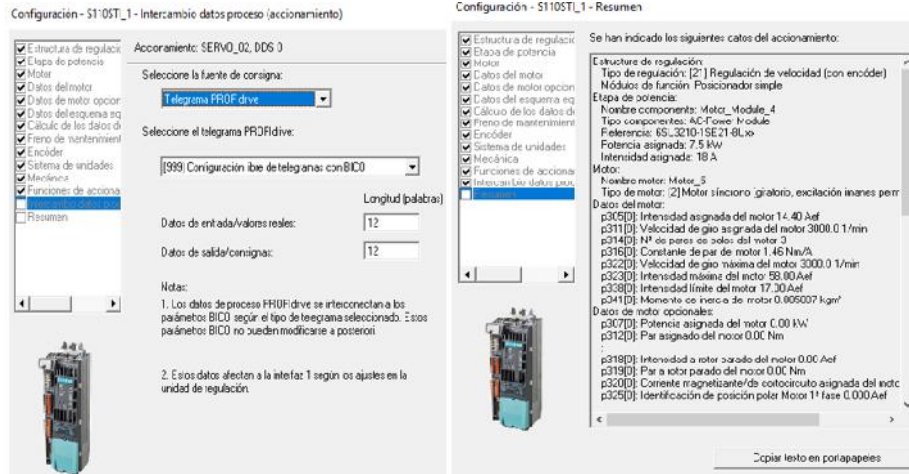


Fig. 36 Resumen de configuración  
 Fuente: Autor

## CAPITULO 3

### 3. PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para el correcto control de los procesos industriales, se emplean pantallas de gestión o adquisición de datos, que permiten el monitoreo del proceso y estado de sus elementos, es aquí a donde se integra nuestro sistema por medio de la red Profinet y desde donde se ingresarán los valores del proceso (SP set point) y serán enviados al controlador lógico.

#### 3.1 Pruebas de los elementos de control

Después del montaje de los elementos y la conexión de los elementos de control, se procede a comprobar las señales I/O (entrada y salida) en las estaciones remotas de los actuadores de acuerdo a la siguiente tabla, también se verifica que los datos se reflejen en la pantalla de gestión de datos o HMI con la cual nuestro sistema comparte esta información.

*Tabla 6 Lista Comprobación*

Voltajes de alimentación	✓
Ingreso de señales desde los sensores	✓
Ingreso de señal del pulsante de emergencia	✓
Salida de señales hacia actuadores	✓
Movimiento del motor	✓
Dirección de movimiento del motor	✓

*Fuente: Autor*

Para el sistema de control se utiliza un sistema de regulación, es decir un sistema en bucle cerrado, en donde la distancia de recorrido de la banda transportadora, previamente programada, se compara continuamente entre el valor real y la programada hasta llegar al valor requerido.

#### 3.2 Medida de posicionamiento de la banda transportadora

La medida de posición del servomotor se obtendrá luego de acondicionar su posición real, para esto se utiliza una LU (unidad de longitud), no tiene valor fijo, dependerá de las cantidades de LU que valdrá cada revolución de carga (eje de la carga) y este valor lo define el programador.

La resolución del encoder es de 2500 ppr (pulsos por revolución) del motor.

La relación de carga del motor es de 10 a 1 por lo que estos datos ingresamos en: Revolución de carga = 1, y Revolución del motor = 10.

La resolución que nos planteamos es de 0,1mm/LU para mayor precisión en la medición.

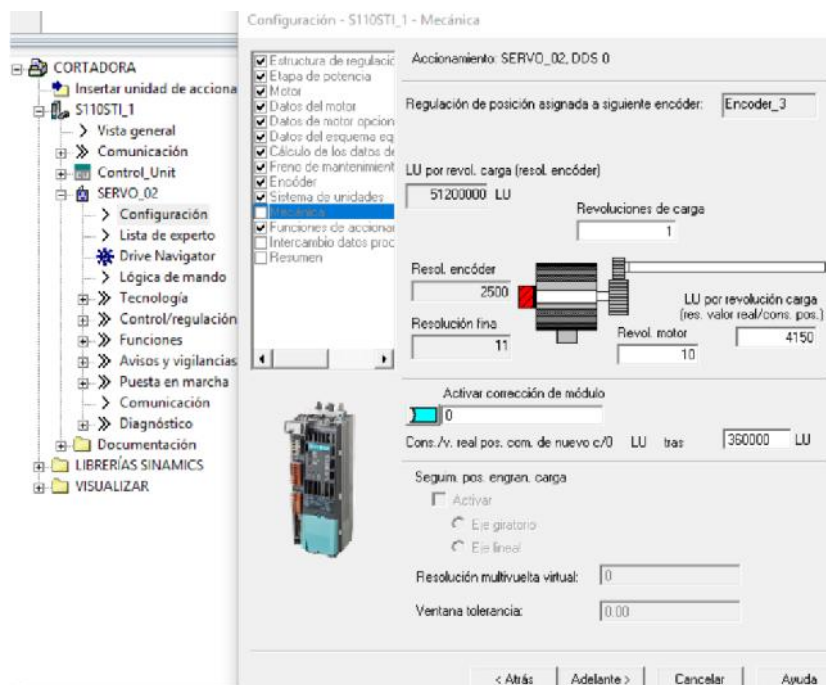


Fig. 37 Acondicionamiento de posición real del motor  
Fuente: Autor

El avance de la banda transportadora en una revolución de carga es de 512mm, entonces dividimos este valor por la resolución que nos planteamos:

$$LU = 512\text{mm}/0,1\text{mm} = 5120 \text{ LU por revolución de carga.}$$

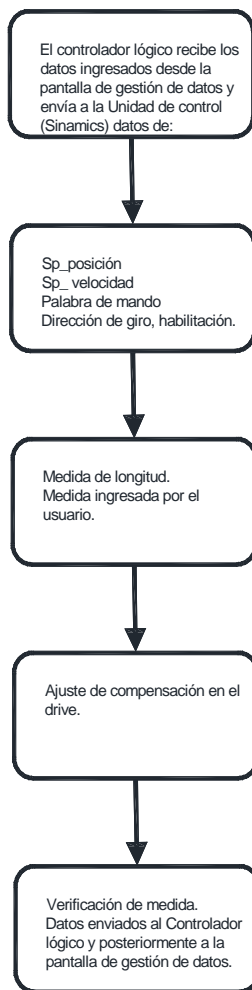
Tabla 7 Valor de distancia medida

LU	Distancia programada (mm)	Distancia real (mm)
5120	1000	810mm

Fuente: Autor

Comprobando físicamente no se llega a la distancia programada, obteniendo una medida de 810mm debido a pérdidas en los acoples mecánicos de la banda, entonces se deberá proceder a ajustar el valor real de posicionamiento.

El controlador lógico recibe los datos ingresados desde la pantalla de gestión, también envía información hacia la unidad de control, en el siguiente diagrama se muestra el proceso a realizar.



*Fig. 38 Diagrama de proceso de datos  
Fuente: Autor*

La palabra de mando es una orden enviada desde el controlador lógico con datos de habilitación, emergencias desactivadas y sentido de giro.

### **3.3 Ajuste a la medición de la banda transportadora**

El sistema de posicionamiento de la banda transportadora debe ofrecer una medición estable y precisa en todo momento.

Para lograr está medición y después del acondicionamiento de la posición real, al no llegar al valor programado se procede a ajustar el valor de la medida, utilizamos el valor fijo de posicionamiento (distancia programada) de corte y contrastamos con el valor real medido, calculamos la relación entre estos valores:

$$810/1000 = 0,81$$

Este resultado multiplicamos al valor de LU inicial en el eje de carga, hasta obtener la medida de la distancia correcta.

$$0,81 \times 5120 = 4147$$

$$1,0007 \times 4147 = 4150$$

Los valores obtenidos se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 8 Corrección de medida

LU por rev. carga	Distancia programada (mm)	Distancia real (mm)
5120	1000	810mm
4147	1000	1007
4150	1000	1000

Fuente: Autor

### 3.4 Registro de fallas del sistema y análisis de resultados

Con la puesta en marcha del sistema se ha reducido considerablemente las pérdidas de producción por fallos en el sistema, a continuación se muestran en la tabla 9 donde se puede observar las fallas antes de la implementación, desde el 2017 hasta el mes de marzo del 2018, con un total de 24 fallas por distintas causas destacando fallas en el software.

Tabla 9 Fallos del sistema antes de la implementación

Fallos del sistema							
	2017					2018	Total por meses
	Marzo	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Marzo	
Cuchilla		2		1	3		6
Computadora colgada		1					1
Computador de cortador se detiene		1					1
Computadora colgada			5	1	3		9
Computadora no prende			1				1
Transportador de cortadora	2	1		1			4
Cortadora Firwood						1	1
Computador apagado						1	1
<b>Total general</b>	2	5	6	3	6	2	24

Fuente: Autor

Desde el 2018 en el mes de marzo que se implementa el nuevo sistema se registra una reducción considerable de fallas que se pueden visualizar en la tabla 10, registrando en el

mes de agosto un reporte de falla por falta de energía en la computadora del sistema al momento de iniciar el programa de producción.

En el 2019 existe dos fallas en el transportador de la cortadora por desajustes en los sensores que detectan presencia de material, de igual manera existe un registro de computador apagado, evento que se detecta en el mes de octubre.

Tabla 10 Fallos del sistema después de la implementación

Fallos del sistema							
	2018					2019	Total por meses
	Marzo	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Marzo	
Cuchilla							
Computador de cortador se detiene							
Computadora colgada							
Computadora no prende			1				1
Transportador de cortadora	1			1			2
Cortadora Firwood							
Computador apagado					1		1
<b>Total general</b>	1		1	1	1		4

Fuente: Autor

Finalmente se ha realizado una comparación mediante la prueba de independencia Chi-Cuadrado que nos permite determinar si existe una relación entre dos variables, es decir si son independientes o no, comparando las frecuencias observadas con las frecuencias esperadas.

La hipótesis nula ( $H_0$ ) de la prueba estadística declara que el vector de datos observados es independiente del vector de datos observados, la hipótesis alternativa ( $H_a$ ) declara en nuestro caso que existe dependencia.

Con un nivel de significancia de 0,05 se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) si el valor-p es menor o igual a 0,05; caso contrario, si p es mayor a 0,05 no se puede rechazar la hipótesis nula porque no hay suficiente evidencia para concluir que las variables están asociadas.

Esta prueba de independencia se realiza para determinar si el nivel de fallas ocurridas tiene alguna relación con el mes en el que se producen. En definitiva se realiza la comparación de la distribución de frecuencias de fallos por mes obtenidas entre el sistema original y el sistema mejorado, en un período de muestreo de 6 meses para ambos sistemas. Los resultados del análisis se visualizan a continuación en la tabla 11.

### Prueba de Chi Cuadrado de independencia:

Para la prueba se debe tomar en cuenta que el vector de valores observados corresponde al sistema original y el vector de datos esperado corresponde al sistema nuevo.

Por otra parte las hipótesis nula y alternativa se definen de la siguiente manera:

Ho: Las fallas y mes son independientes, es decir el porcentaje de fallas no varía significativamente entre los diferentes meses.

Ha: Las fallas y meses son dependientes, es decir el porcentaje de fallas varía de acuerdo al mes, si se trabajó más horas en determinado mes, si existió días de descanso, etc.

Este análisis comprueba si existe alguna dependencia entre los fallos y los meses.

Tabla 11 análisis estadístico.

	Meses					
Sistema	1	2	3	4	5	6
Observado	2	5	6	3	6	2
Esperado	1	0	1	1	1	0

Fuente: Autor.

Pearson's Chi-squared test with simulated p-value (based on 2000 replicates).

```
data: matrix
```

```
X-squared = 2.4306, df = NA, p-value = 0.91
```

Con un valor-p = 0,91 se concluye que no existe la suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula, por lo tanto, se puede decir que no existe dependencia entre el fallo y el mes de trabajo, son independientes.

### Comprobación de las diferencias estadísticas en los promedios de fallos entre el sistema original y el sistema nuevo:

La prueba de contrastes de medias es un proceso estadístico mediante el cual se pone a prueba de significancia la diferencia de las medias de dos poblaciones, para esto se especificará la hipótesis nula y alternativa, se construirá el estadístico de contraste en función de las diferencias registradas entre los valores de la variable de estudio evaluada en cada uno de los grupos a comparar. Con los resultados obtenidos podremos decir si los grupos en observación son o no iguales [5].

Se utiliza una prueba de contraste entre los promedios de fallos de los dos sistemas. La prueba utilizada es un contraste de medias pareadas utilizando el estadístico de prueba t (distribución de t-student).

Los supuestos previos de la prueba que se deben verificar son que los vectores de datos a comparar provengan de una distribución normal y que los dos vectores sean homogéneos en su variabilidad.

Se comprobaron los supuestos mediante gráficas de normalidad que se pueden apreciar en la gráfica 39.

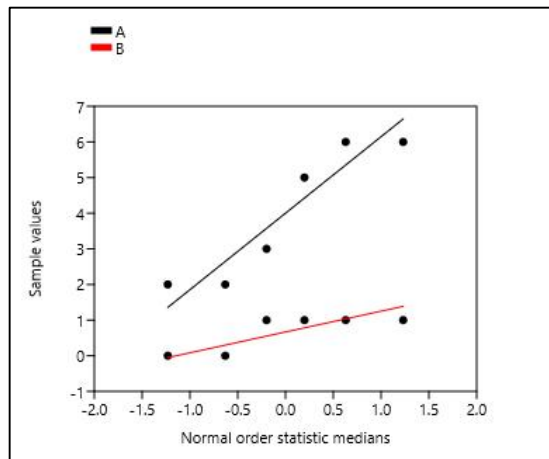


Fig. 39 Gráfica de normalidad

Fuente: Autor

Por otra parte, las hipótesis a verificar son las siguientes en esta prueba:

Ho: los promedios de fallos son iguales

Ha: los promedios de fallos son diferentes

Al aplicar la prueba diremos que con un nivel de confianza de 95%, se rechaza la hipótesis nula si el valor-p es mucho menor a 0.05.

Paired t-test

```

data: A and B
t = 4.3853, df = 5, p-value = 0.007119
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 1.379391 5.287276
sample estimates:
mean of the differences
      3.333333
    
```

Como el p-value = 0.007119 y menor a 0.05, la prueba resulta ser significativa y se puede decir que existe mucha evidencia para declarar que el promedio de fallos es diferente en ambos sistemas con una diferencia promedio de 3.33, es decir 4 fallos en promedio aproximadamente entre el sistema original y el nuevo.

Se puede evidenciar que con el nuevo sistema disminuyen los eventos de fallos reduciendo por lo tanto costos de mantenimiento y pérdidas en material desechado.

## CONCLUSIONES

Con el análisis de resultados obtenidos podemos concluir que:

La prueba de independencia realizada nos indica que  $p\text{-value} = 0.91$  es mayor al nivel de significancia 0,05 por lo tanto no existe dependencia entre los eventos de fallo y el mes en que se producen, es decir que no influye si en determinado mes se trabajó por más horas, existió días de descanso, las condiciones de trabajo fueron diferentes en temperatura, tipo de material, etc.

Con la implementación del nuevo sistema los eventos de falla disminuyen con una diferencia promedio de 4 fallos aproximadamente por mes, obteniendo mayor estabilidad en el funcionamiento de la banda transportadora. En consecuencia, generamos mayor estabilidad en el sistema de control de la banda transportadora, brindando un sistema confiable, reduciendo las pérdidas en el sistema y costos de mantenimiento.

Para el desarrollo del nuevo sistema de posicionamiento, se seleccionó equipos de la marca Siemens, facilitando la integración hacia el sistema de control general de la máquina, estos equipos cumplen con el estándar requerido de la empresa y se tiene accesibilidad a repuestos.

A través de la pantalla de adquisición de datos ingresamos una nueva distancia de posicionamiento de la banda transportadora durante la marcha del sistema y con esto no afectamos el funcionamiento de la misma.

Al integrar en la programación el control lógico del sistema de corte de la cuchilla, se obtiene una sincronización de los tiempos en el corte de material. El montaje de los elementos de control en un solo tablero nos facilitara la tarea de monitoreo y mantenimiento, favoreciendo al desarrollo normal del proceso.

Los parámetros de la unidad de control se deben ingresar de acuerdo a los datos de placa de los equipos, y durante la puesta en marcha del sistema de banda transportadora se podrá realizar el ajuste necesario en caso de requerirlo, por consiguiente obtendremos precisión en el sistema de banda transportadora.

## RECOMENDACIONES

Se debe realizar mantenimiento preventivo de cada una de las partes móviles del sistema de banda transportadora para evitar sobrecargas en el servomotor.

Los parámetros de los equipos se los debe respaldar en un archivo digital para que en caso de falla o requerir recambio, se los pueda volver a grabar con los valores ya definidos.

Por las condiciones del ambiente de trabajo como son de temperatura caliente se deberá instalar un sistema de aire acondicionado para mantener los equipos en condiciones normales de temperatura.

Durante el desarrollo del proceso tener presente la información de parámetros de trabajo que se los puede visualizar en la pantalla de adquisición de datos en donde también se mostrará mensajes de fallas en el sistema en caso de existir y ayudará a controlar el correcto funcionamiento del sistema. Se recomienda realizar una comparación entre el peso real del material y el peso de la especificación, esto nos ayudara a controlar si existe variación en la calidad del material. Se necesita implementar una advertencia visual como puede ser luces de aviso que se activen en caso de falla.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] [15] Siemens AG, «Sinamics S110,» *Manual del producto*, p. 268, 2015.
- [2] [13] Siemens AG, «Sinamics S120 AC Drive,» *Manual del producto*, p. 428, 2009.
- [3] [12] Siemens AG, «CPU 31XX y CPU 31XX: Configuración,» de *Instrucciones de servicio*, 2009, p. 328.
- [4] [11] Siemens AG, «Sistema de periferia descentralizada ET 200S,» 2008, p. 174.
- [5] I. Moral Peláez, «Comparación de medias,» [En línea]. Available: <https://www.revistaseden.org/files/12-CAP%2012.pdf>.
- [6] [14] Siemens AG, «Productos para Totally Integrated Automation y Micro Aotomation,» de *Catálogo de Novedades ST 70 N ° 2010*, 2010, p. 296.
- [7] [16] Siemens AG, «Convertidorees Sinamics para accionamientos monoeje,» *Motion Control Drives*, p. 400, 2018.
- [8] M. [21] Vega Romero, «Diseño e Implementacion de un Sistema de Control de Posición Mediante un Servomotor para el Laboratorio de Accionamientos Eléctricos de la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE" Extensión Latacunga,» p. 6, 2014.
- [9] R. D. L. H. T. M. [22] Zapata L., «Diseño e Implementación de un Sistema de Producción Modular Didáctico para el Laboratorio de Automatización Industrial Mecatrónica de la "ESPE",» p. 13, 2013.
- [10] [17] Siemens AG, 2009-2020, «Industry Online Support,» 11 12 2019. [En línea]. Available: <https://support.industry.siemens.com/cs/products/3sb3801-0dg3/caja-de-plastico-1-punto-de-mando?pid=182687&mlfb=3SB3801-0DG3&mfn=ps&lc=es-WW>.
- [11] [18] Siemens AG, 2009-2020, «Industry Online Support,» 11 12 2019. [En línea]. Available: <https://support.industry.siemens.com/cs/products/3su1100-0ab40-1ba0-zy11/pushbutton-green?pid=454442&mlfb=3SU1100-0AB40-1BA0-ZY11&mfn=ps&lc=en-WW>.
- [12] [19] Siemens AG, 2009-2020, «Industry Online Support,» 11 12 2019. [En línea]. Available: <https://support.industry.siemens.com/cs/products/3su1150-2bm60-1na0-zy12/selector-switch-i-o-ii-black-white?pid=42959&mlfb=3SU1150-2BM60-1NA0-ZY12&mfn=ps&lc=en-WW>.
- [13] [20] Siemens AG, 2009-2020, «Industry Online Support,» 12 2019. [En línea]. Available: <https://support.industry.siemens.com/cs/products/3su1152-0ab20-3fa0-zy13/illuminated-pushbutton-red?pid=208787&mlfb=3SU1152-0AB20-3FA0-ZY13&mfn=ps&lc=en-WW>.
- [14] B. F. M. J. r. F. G. L. R. E. A. S. [01] Aguilera I., «Automatización de Banda Transportadora con Retroalimentación Visual,» p. 6, 2015.

- [15] L. J. R. L. Q. J. L. M. [06] Magos M., «Automatización de un Sistema Didáctico para Estudios de Tiempos y Movimientos,» p. 17, 2016.
- [16] [05] Habasit, «Bandas transportadoras ligeras HSL-8E,» *Datos del producto*, p. 3, 2019.
- [17] H. S. W. [07] Panchi Olivo S., «Diseño y construcción de un módulo didáctico de un sistema de automatización de llenado y envasado de sólidos, utilizando sensores fotoeléctricos, ultrasónicos, capacitivos, encoders, galgas extensiométricas y brazos robóticos, para el Laboratorio de,» p. 14, 2014.
- [18] C. F. G. F. [02] Benítez H., «Red Reconfigurable Mediante el Modelo de Control Predictivo para Tres Bandas Transportadoras como Caso de Estudio,» p. 18, 2009.
- [19] S. [04] Eurodrive, «Synchronous Servomotors,» *Catálogo*, p. 53, 2010.
- [20] [09] Sew Eurodrive, «Synchronous Servomotors,» *CFM-112 Synchronous Servomotors*, 2017.
- [21] J. M. [03] Cañero-Nieto, C. Spinola, G. Moreno-Aranda, M. Martín-Vázquez y J. Bonelo, «Sistema Automático de Medida de Longitud sin Contacto en Líneas de Corte de Chapas de Bobina de Acero,» *Sistemas de instrumentación y medida*, p. 7, 2014.
- [22] S. [10], «Fotocélulas pequeñas,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.sick.com/mx/es/fotocelulas/fotocelulas/w9/wse9l-3p2437/p/p304794>.
- [23] S. [08], «Ejemplos Calculos Servomotores,» [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/doc/154809604/Ejemplos-Calculos-Servomotores>.
- [24] B. B. Mendenhall, «Introducción a la probabilidad y estadística,» 2010, p. 594.



**PERMISO DEL AUTOR DE TESIS PARA SUBIR AL REPOSITORIO  
INSTITUCIONAL**

Yo, **Juan Pablo Chitacapa Chitacapa** portador de la cédula de ciudadanía N° 0103556940. En calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación **“Diseño e Implementación de un Sistema de Posicionamiento en una Banda Transportadora”** de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizo a la Universidad para que realice la publicación de éste trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 17 de febrero del 2020

F: .....  
**Juan Pablo Chitacapa Chitacapa**  
C.I. 0103556940