



**ESPE**

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS**  
**INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA**

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y  
MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA  
AUTOMÁTICA PULVERIZADORA DE PINTURA EN CHAPAS  
GALVANIZADAS ACANALADAS PARA LA EMPRESA  
CONSTRUCCIONES METALMECÁNICAS.**

**AUTOR: FREDY JAVIER, VILLALBA ACURIO**

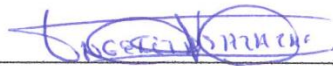
**DIRECTORA: ING. SALAZAR, ANGELITA MSc.**

**CODIRECTOR: ING. ECHEVERRÍA, LUIS**

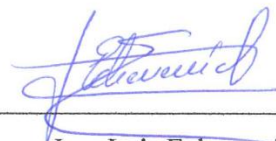
**SANGOLQUI, MAYO 2015**

## CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

Los suscritos, Ing. Angelita Salazar e Ing. Luis Echeverría , Directora y Codirector respectivamente, certificamos que el proyecto titulado **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA AUTOMÁTICA PULVERIZADORA DE PINTURA EN CHAPAS GALVANIZADAS ACANALADAS PARA LA EMPRESA CONSTRUCCIONES METALMECÁNICAS”**, fue realizado en su totalidad por Fredy Javier Villalba Acurio, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero en Mecatrónica.



Ing. Angelita Salazar MSc  
DIRECTORA



Ing. Luis Echeverría  
CODIRECTOR


Sangolquí, 2015 – 05 - 04

## DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

FREDY JAVIER VILLALBA ACURIO

DECLARO QUE:

El proyecto de grado denominado “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA AUTOMÁTICA PULVERIZADORA DE PINTURA EN CHAPAS GALVANIZADAS ACANALADAS PARA LA EMPRESA CONSTRUCCIONES METALMECÁNICAS”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.




Fredy Javier  
Villalba Acurio

## CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

### AUTORIZACIÓN

Yo: Fredy Javier Villalba Acurio

Autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE la publicación, en la biblioteca virtual de la institución del proyecto de grado titulado: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA AUTOMÁTICA PULVERIZADORA DE PINTURA EN CHAPAS GALVANIZADAS ACANALADAS PARA LA EMPRESA CONSTRUCCIONES METALMECÁNICAS”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.



Fredy Javier  
Villalba Acurio

## **DEDICATORIA**

El presente proyecto es dedicado con todo el amor del mundo a una mujer luchadora y ejemplar, fuente de fortaleza y perseverancia mi madre Cenaida Acurio, a mi querida hermana Adriana que es una bendición en mi vida, a mis abuelitos Alfonso (+) y Eufemia que me vieron crecer y me dieron todo su cariño y ejemplo para ser una persona de bien, y a toda mi familia que me brindaron su apoyo para culminar con éxito una etapa más de mi vida.

Fredy Javier Villalba Acurio

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco en primer lugar a Dios por brindarme sabiduría, amor, paciencia y fortaleza en cada momento difícil que sentía ya no tener fuerzas para continuar y por sus misteriosas señales que siempre me han sabido guiar por el mejor camino.

A mi madre Cenaida, por traerme al mundo y nunca dejarme solo, por enseñarme a luchar y a levantarme siempre en el transcurso de mi vida, por ser mi MADRE y PADRE a la vez.

A toda mi hermosa familia, abuelos, tíos, tías, primos, primas que siempre me han sabido brindar su cariño y apoyo.

A todos mis amigos y amigas por forman parte de mi vida y brindarme su ayuda cuando los he necesitado.

En fin agradezco a todas las personas que de una u otra forma aportaron su tiempo y enseñanzas durante esta etapa de mi vida.

Fredy Javier Villalba Acurio

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO .....	i
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD .....	ii
AUTORIZACIÓN .....	iii
DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTOS .....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xiv
ÍNDICE DE TABLAS .....	xx
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xxii
RESUMEN .....	xxiii
ABSTRACT .....	xxiv
 CAPÍTULO 1	
GENERALIDADES .....	1
1.1 Introducción .....	1
1.2 Definición del problema .....	2
1.3 Justificación .....	2
1.4 Objetivos .....	3
1.4.1. General .....	3
1.4.2. Específicos .....	3
1.5 Alcance del proyecto .....	3

## CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 Antecedentes.....	5
2.2 Lámina Galvanizada.....	5
2.3 Máquinas de pintura.....	6
2.4 Partes de las máquinas de pintura.....	8
2.5 Pistolas de pinturas.....	11
2.5.1. Funcionamiento.....	11
2.5.2. Pistolas automáticas.....	12
2.6 Transportador de Rodillos.....	13
2.6.1. Alternativas.....	14
2.6.1.1. Alternativa A: Motor de corriente alterna.....	14
2.6.1.2. Alternativa B: Motor de corriente continua.....	14
2.6.2. Reductor.....	15
2.7 Sistema de Pre calentamiento.....	16
2.7.1. Alternativas.....	17
2.7.1.1. Alternativa A: Resistencia Eléctrica.....	17
2.7.1.2. Alternativa B: Lámparas de luz infrarroja.....	17
2.8 Sistema Automático de Pintado.....	19
2.8.1. Alternativas.....	19
2.8.1.1. Alternativa A: Desplazamiento neumático.....	19



2.8.1.2.	Alternativa B: Desplazamiento electromecánico .....	20
2.9	Sistema de detección .....	21
2.9.1.	Alternativas.....	21
2.9.1.1.	Alternativa A: Sensor Inductivo .....	21
2.9.1.2.	Alternativa B: Sensor óptico.....	23
2.10	Control del proceso.....	24
2.10.1.	PLC.....	24
2.10.2.	Interfaz hombre máquina.....	27

### CAPÍTULO 3

DISEÑO DE LOS SISTEMAS .....	29	
3.1	Descripción de las etapas del sistema.....	29
3.2	Consideraciones para el diseño del sistema de pintado.....	30
3.3	Principio básico del funcionamiento .....	30
3.4	Selección de alternativas .....	32
3.4.1.	Parámetros de evaluación .....	32
3.4.1.1.	Costo.....	33
3.4.1.2.	Versatilidad.....	33
3.4.1.3.	Facilidad de Control .....	33
3.4.1.4.	Tiempo de vida útil.....	33
3.4.1.5.	Mantenimiento.....	33
3.4.2.	Cuadros comparativos de las alternativas.....	34

3.4.2.1.	Sistema de transporte: Transportador de rodillos.....	34
3.4.2.2.	Sistema de precalentamiento. ....	35
3.4.2.3.	Sistema automático de pintura: Desplazamiento.....	36
3.4.2.4.	Sistema de detección: Sensores. ....	37
3.4.3.	Ponderación de las alternativas.....	37
3.4.4.	Conclusiones de la selección de alternativas.....	40
3.5	DISEÑO MECÁNICO DE LOS SISTEMAS.....	40
3.5.1.	Factor de seguridad.....	41
3.5.2.	DISEÑO DEL SISTEMA DE TRANSPORTE.....	43
3.5.2.1.	Análisis de las necesidades de la etapa.....	43
3.5.2.2.	Especificaciones técnicas: Transportador horizontal de rodillos.....	43
3.5.2.3.	Dimensionamiento del transportador de rodillos.....	44
3.5.2.4.	Selección de los materiales para la parte estructural.....	44
3.5.2.5.	Diseño de los rodillos transportadores.....	55
3.5.2.5.1.	Determinar el número de rodillos transportadores.....	55
3.5.2.5.2.	Determinación de la Velocidad Lineal.....	56
3.5.2.5.3.	Determinación de la Velocidad Angular.....	57
3.5.2.5.4.	Cálculo de la fuerza que soporta el eje de un rodillo.....	58
3.5.2.5.5.	Determinar la capacidad de carga máxima del rodillo.....	58
3.5.2.5.6.	Selección de las chumaceras de soporte para los rodillos.....	67
3.5.2.5.7.	Fuerza de un rodillo para mover parte de una lamina.....	67

3.5.2.5.8. Cálculo de la potencia requerida para mover una lámina.....	69
3.5.2.6. Cálculo estimado de la potencia del motor.....	70
3.5.2.7. Diseño de la transmisión por cadena .....	71
3.5.2.7.1. Potencia de entrada.....	71
3.5.2.7.2. Velocidad de entrada .....	72
3.5.2.7.3. Selección del número de dientes del piñón y rueda.....	72
3.5.2.7.4. Selección de la cadena .....	74
3.5.2.7.5. Selección de Piñones .....	77
3.5.2.8. Verificación de la potencia y selección del motor y reductor .....	80
3.5.2.8.1. Diseño del eje de transmisión.....	84
3.5.2.8.2. Diseño de la base de soporte del motor .....	90
3.5.3. DISEÑO DEL SISTEMA DE PINTADO AUTOMÁTICO.....	91
3.5.3.1. Selección de las pistolas Automáticas .....	91
3.5.3.2. Selección del Actuador Lineal para el Cabezal Porta-pistolas .....	93
3.5.3.3. Diseño del Cabezal Porta-pistolas .....	94
3.5.3.3.1. Dimensionamiento de guías de regulación de pistolas .....	95
3.5.3.3.2. Dimensionamiento de la Placa Lateral de Soporte .....	100
3.5.3.3.3. Dimensionamiento de los cojinetes para las guías .....	101
3.5.3.3.4. Dimensionamiento de guías de regulación de altura .....	102
3.5.3.3.5. Dimensionamiento placa C de acople sobre el MRU .....	106
3.5.3.3.6. Diseño de la estructura de soporte para el Cilindro MRU.....	107

3.5.3.4.	Diseño Neumático del Sistema de Pulverización de pintura.....	114
3.5.3.4.1.	Selección de Tanques a presión para pintura.....	116
3.5.3.4.2.	Selección de Electroválvulas .....	118
3.5.3.4.3.	Selección de las unidades de mantenimiento .....	119
3.5.3.4.4.	Dimensionamiento del compresor .....	122
3.5.4.	DISEÑO DEL SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO.....	124
3.5.4.1.	Análisis de las necesidades de la etapa.....	124
3.5.4.2.	Longitudes de ondas infrarrojas .....	124
3.5.4.3.	Selección del equipo infrarrojo.....	125
3.5.5.	DISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y DE CONTROL .....	127
3.5.5.1.	Selección del PLC y la HMI.....	127
3.5.5.2.	Selección de los sensores.....	129
3.5.5.3.	Selección de la fuente DC .....	131
3.5.5.4.	Esquema de conexiones eléctricas.....	133
3.5.5.5.	Descripción del sistema de control.....	135
3.5.5.6.	Análisis de los parámetros y necesidades de control.....	136
3.5.5.7.	Descripción de las variables para la programación del PLC.....	136
3.5.5.8.	Diagrama de flujo para el control del transportador de rodillos.....	138
3.5.5.9.	Diagrama de flujo para el control del cilindro neumático MRU.....	139
3.5.5.10.	Diagrama de flujo para el control del sistema de pulverización.....	140
3.5.5.11.	Descripción de los softwares de programación del PLC y HMI.....	141

3.5.5.12. Diseño de la caja de control.....	142
---	-----

## CAPÍTULO 4

CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA .....	145
---	-----

4.1 Generación de planos mecánicos, eléctricos y de control. ....	145
---	-----

4.2 Montaje de la Estructura del transportador de rodillos .....	145
--	-----

4.3 Montaje de las chumaceras.....	146
------------------------------------	-----

4.4 Montaje de los rodillos del transportador .....	147
---	-----

4.5 Montaje de las cadenas .....	147
----------------------------------	-----

4.6 Montaje del motor y su base de soporte .....	148
--	-----

4.7 Montaje del pistón neumático MRU y su soporte .....	149
---	-----

4.8 Montaje del Cabezal Porta pistolas .....	150
--	-----

4.9 Montaje de los Sensores .....	151
-----------------------------------	-----

4.10 Montaje de las pistolas automáticas .....	153
--	-----

4.11 Montaje de los tanques de pintura .....	154
--	-----

4.12 Montaje del armario de control .....	155
---	-----

## CAPÍTULO 5

5. PRUEBAS Y ANALISIS DE FUNCIONAMIENTO.....	157
--	-----

5.1 Pruebas de funcionamiento del motor y la variación de su velocidad.....	157
---	-----

5.2 Pruebas de funcionamiento del cilindro neumático MRU .....	158
--	-----

5.3 Pruebas de funcionamiento de las pistolas automáticas .....	159
---	-----

5.4 Pruebas de funcionamiento del flujo de pintura de los tanques .....	160
---	-----

5.5	Pruebas de pintado con relación a la altura de las pistolas.....	161
-----	--	-----

## CAPÍTULO 6

ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO .....	163
---------------------------------------	-----

6.1	Costos totales de materiales empleados y manufactura.....	163
-----	---	-----

6.2	Costos indirectos de producción-CIF .....	164
-----	---	-----

6.3	Ahorro total del proyecto.....	165
-----	--------------------------------	-----

6.4	Análisis financiero del sistema automático de pintado. ....	166
-----	---	-----

6.4.1.	Análisis del consumo energético del sistema automático. ....	167
--------	--	-----

6.4.2.	Costo de mano de obra con la producción manual.....	169
--------	---	-----

6.4.3.	Costo con el sistema automático de pintado.....	169
--------	---	-----

6.4.4.	PROYECCIÓN DE LA INVERSIÓN .....	171
--------	----------------------------------	-----

6.4.4.1	Proyección del estado de ganancias/perdidas.....	171
---------	--	-----

6.4.4.2	Proyección del flujo de caja .....	173
---------	------------------------------------	-----

6.4.4.3	Tasa interna de retorno TIR.....	174
---------	----------------------------------	-----

6.4.4.4	Valor actual VAN.....	175
---------	-----------------------	-----

6.4.4.5	Razón Beneficio/Costo .....	175
---------	-----------------------------	-----

6.4.4.6	Periodo real de la recuperación de la inversión.....	176
---------	--	-----

6.4.4.7	Punto de Equilibrio.....	176
---------	--------------------------	-----

6.4.4.8	Resumen de los criterios de evaluación.....	177
---------	---	-----

## CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	178
-------------------------------------	-----

7.1	Conclusiones.....	178
7.2	Recomendaciones .....	180
	BIBLIOGRAFÍA .....	181
	ANEXOS .....	186

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura No. 2.1:	Lámina Galvanizada .....	6
Figura No. 2.2:	Robot de pintura .....	7
Figura No. 2.3:	Partes de la máquina .....	10
Figura No. 2.4:	Pistolas Automáticas.....	12
Figura No. 2.5:	Transportadores de rodillos motorizados para palets .....	13
Figura No. 2.6:	Sección del motor de corriente alterna .....	14
Figura No. 2.7:	Motor de corriente continua .....	15
Figura No. 2.8:	Cajas Reductoras .....	16
Figura No. 2.9:	Esquema –Resistencia Eléctrica .....	17
Figura No. 2.10:	Lámparas de luz infrarroja.....	18
Figura No. 2.11:	Sistema neumático básico.....	19
Figura No. 2.12:	MRU series Magnetic Rodless Cylinder (Bushing Type) .....	20
Figura No. 2.13:	Router CNC .....	21
Figura No. 2.14:	Componentes de un sensor inductivo .....	22
Figura No. 2.15:	Campo electromagnético de un sensor inductivo .....	22
Figura No. 2.16:	Principio de funcionamiento de un sensor inductivo.....	23
Figura No. 2.17:	Sensor óptico .....	24

Figura No. 2.18: Controlador lógico programable.....	25
Figura No. 2.19: Esquema de supervisión de una HMI.....	28
Figura No. 3.1: Diagrama de descripción del Proceso.....	31
Figura No. 3.2: Esquema general de la máquina .....	41
Figura No. 3.3: Esquema general de la estructura del transportador .....	44
Figura No. 3.4: Tubo estructural cuadrado de acero A500 Gr.A.....	46
Figura No. 3.5: Diagrama de cargas sobre el perfil .....	47
Figura No. 3.6: Angulo estructural L de acero NTEINEN 2215 .....	49
Figura No. 3.7: Perfiles base .....	50
Figura No. 3.8: Apoyos regulables de la estructura.....	50
Figura No. 3.9: Características de pernos milimétricos .....	51
Figura No. 3.10: Carga de prueba de pernos milimétricos .....	52
Figura No. 3.11: Angulo estructural L de acero NTEINEN 2215 .....	53
Figura No. 3.12: Angulo Estructural L .....	53
Figura No. 3.13: Tubo estructural rectangular de acero A500 Gr.A.....	54
Figura No. 3.14: Tubo estructural rectangular .....	54
Figura No. 3.15: Distancia entre rodillos .....	55
Figura No. 3.16: Diagrama del cuerpo libre del rodillo.....	58
Figura No. 3.17: Medidas de longitud de los rodillos transportadores .....	59
Figura No. 3.18: Formulas tensión de flexión y la flexión de un rodillo.....	60
Figura No. 3.19: Capacidad de carga máxima del rodillo.....	61
Figura No. 3.20: Diagrama de fuerzas en el Rodillo.....	62
Figura No. 3.21: Graficas de fuerza cortante y momento flector del rodillo .....	63
Figura No. 3.22: Simulación del límite elástico del Rodillo.....	64



Figura No. 3.23: Simulación del desplazamiento del Rodillo .....	65
Figura No. 3.24: Simulación del FS del Eje de la Pistola.....	65
Figura No. 3.25: Propiedades físicas del rodillo .....	66
Figura No. 3.26: Características de las chumaceras seleccionadas.....	68
Figura No. 3.27: Datos de entrada al Software RENOLD.....	73
Figura No. 3.28: Resultados obtenidos del Software RENOLD.....	74
Figura No. 3.29: Distancia entre centros.....	74
Figura No. 3.30: Características de los piñones seleccionados.....	78
Figura No. 3.31: Rangos de transmisión de potencia (HP).....	79
Figura No. 3.32: Motor de AC seleccionado .....	81
Figura No. 3.33: Reductor del motor de AC.....	82
Figura No. 3.34: Variador de frecuencia del motor AC.....	83
Figura No. 3.35: Dimensionamiento del eje .....	84
Figura No. 3.36: Gráficas de fuerza cortante y momento flector del eje.....	85
Figura No. 3.37: Dimensiones de la chaveta.....	87
Figura No. 3.38: Dimensiones del chavetero .....	90
Figura No. 3.39: Base de soporte del motor.....	90
Figura No. 3.40: Código de Pistola Automática .....	91
Figura No. 3.41: Características de la Pistola Automática.....	92
Figura No. 3.42: Pistola Automática Rich Star.....	93
Figura No. 3.43: MRU 32x1200mm Marca Chelic .....	94
Figura No. 3.44: Medidas MRU 32x1200mm .....	95
Figura No. 3.45: Esquema general del Cabezal Porta-pistolas .....	95
Figura No. 3.46: Esquema Guía de Regulación de Pistolas.....	96

Figura No. 3.47: Diagrama de fuerzas en guía de regulación de pistolas.....	96
Figura No. 3.48: Simulación del límite elástico del Eje de la Pistola.....	99
Figura No. 3.49: Simulación del desplazamiento del Eje de la Pistola.....	99
Figura No. 3.50: Simulación del FS del Eje de la Pistola.....	100
Figura No. 3.51: Medidas Placa Lateral de Aluminio .....	100
Figura No. 3.52: Esquema Placa Lateral de Soporte .....	101
Figura No. 3.53: Esquema de cojinetes para las Guías .....	101
Figura No. 3.54: Esquema Guía de Regulación de Altura.....	102
Figura No. 3.55: Diagrama de fuerzas en guía de regulación.....	102
Figura No. 3.56: Propiedades físicas de los elementos.....	103
Figura No. 3.57: Simulación del límite elástico de la guía de regulación .....	105
Figura No. 3.58: Simulación del desplazamiento la guía de regulación.....	105
Figura No. 3.59: Simulación del FS la guía de regulación .....	106
Figura No. 3.60: Medidas Placa C de Aluminio .....	106
Figura No. 3.61: Esquema Placa C de Aluminio .....	107
Figura No. 3.62: Tubo estructural rectangular de acero A500 Gr.A.....	108
Figura No. 3.63: Esquema Estructura de Soporte Cilindro MRU.....	108
Figura No. 3.64: Diagrama de fuerzas en Estructura de Soporte Cilindro MRU ....	109
Figura No. 3.65: Propiedades Físicas del Cabezal Porta-pistolas.....	110
Figura No. 3.66: Graficas de fuerza cortante y momento flector de la Estructura del Cabezal Porta-pistolas.....	111
Figura No. 3.67: Simulación del límite elástico de la estructura de soporte del cabezal porta-pistola.....	113

Figura No. 3.68: Simulación del desplazamiento elástico de la estructura de soporte del cabezal porta-pistola .....	113
Figura No. 3.69: Simulación del FS elástico de la estructura de soporte del cabezal porta-pistola .....	114
Figura No. 3.70: Esquema Conexión Neumática de Pistolas.....	115
Figura No. 3.71: Elementos para la conexión de la pistola automática .....	115
Figura No. 3.72: Esquema Conexión Neumática del Cilindro MRU .....	116
Figura No. 3.73: Tanque a presión para pintura Sumake.....	117
Figura No. 3.74: Electroválvula 5/2 Chanto .....	118
Figura No. 3.75: Electroválvula 3/2 Chanto .....	119
Figura No. 3.76: Calidad de aire según la DIN ISO 8573-1 .....	120
Figura No. 3.77: Filtro/regulador de aire Parker para el MRU.....	121
Figura No. 3.78: Filtro de aire y aceite/regulador Parker para las pistolas.....	121
Figura No. 3.79: Tiempos de secado.....	124
Figura No. 3.80: Equipo de secado por luz infrarroja.....	125
Figura No. 3.81: PLC+HMI incorporada seleccionado .....	128
Figura No. 3.82: Sensor inductivo cabeza pronunciada.....	129
Figura No. 3.83: Sensores inductivo cabeza rasante.....	130
Figura No. 3.84: Fuente DC Logo .....	132
Figura No. 3.85: Diagrama de conexión de los dispositivos periféricos .....	133
Figura No. 3.86: Diagrama de cableado hacia los puertos del variador .....	134
Figura No. 3.87: Puertos I/O del PLC Xinje XP-18RT .....	135
Figura No. 3.88: Diagrama de conexión de sensores inductivos NPN .....	135
Figura No. 3.89: Diagrama de Control.....	136

Figura No. 3.90: Diagrama de flujo de la banda transportadora .....	138
Figura No. 3.91: Diagrama de flujo del control del cilindro MRU.....	139
Figura No. 3.92: Diagrama de flujo del control de las pistolas de pulverización ....	140
Figura No. 3.93: Entorno de programación del PLC Xinje .....	141
Figura No. 3.94: Entorno de programación de la HMI del PLC Xinje .....	142
Figura No. 3.95: Distribución Frontal del Armario .....	143
Figura No. 3.96: Distribución Interna del Armario.....	143
Figura No. 3.97: Caja de control diseñada .....	144
Figura No. 4.1: Montaje de la estructura.....	145
Figura No. 4.2: Apoyos regulables de la estructura .....	146
Figura No. 4.3: Montaje de las chumaceras .....	146
Figura No. 4.4: Montaje de los rodillos .....	147
Figura No. 4.5: Montaje de los rodillos .....	148
Figura No. 4.6: Montaje del motor y su base de soporte .....	149
Figura No. 4.7: Montaje del pistón neumático MRU y su soporte .....	150
Figura No. 4.8: Montaje del Cabezal Porta-pistolas .....	151
Figura No. 4.9: Montaje del Sensor de detección de laminas .....	152
Figura No. 4.10: Montaje de los Sensores de carrera (a) inicial, (b) final del cilindro MRU .....	152
Figura No. 4.11: Montaje de las pistolas automáticas .....	153
Figura No. 4.12: Montaje de los tanques de pintura .....	154
Figura No. 4.13: Montaje del armario de control parte interior.....	155
Figura No. 4.14: Montaje del armario de control parte frontal.....	156
Figura No. 6.1: Costos de fabricación vs. Oferta externa .....	166

Figura No. 6.2: Proceso productivo en la empresa .....	166
Figura No. 6.3: Medio para el proceso productivo en la empresa .....	167
Figura No. 6.4: Energía consumida en el proceso automatizado.....	167
Figura No. 6.5: Energía consumida en el proceso automatizado.....	171

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla No. 3.1: Alternativas del motor para el transportador.....	34
Tabla No. 3.2: Alternativas sistema de precalentamiento.....	35
Tabla No. 3.3: Alternativas de Desplazamiento del Cabezal de Pintura .....	36
Tabla No. 3.4: Alternativas de sensores para el sistema de detección.....	37
Tabla No. 3.5: Evaluación alternativas motor del transportador .....	38
Tabla No. 3.6: Evaluación alternativas sistema de precalentamiento.....	38
Tabla No. 3.7: Evaluación alternativas desplazamiento del cabezal .....	39
Tabla No. 3.8: Evaluación Alternativas del sistema de detección .....	39
Tabla No. 3.9: Peso aproximado chapa acanalada galvanizada.....	45
Tabla No. 3.10: Especificaciones técnicas del motor AC.....	81
Tabla No. 3.11: Especificaciones técnicas del reductor.....	82
Tabla No. 3.12: Especificaciones técnicas del variador de frecuencia .....	83
Tabla No. 3.13: Viscosidad de pinturas .....	91
Tabla No. 3.14: Características de Técnicas de un Cilindro MRU.....	93
Tabla No. 3.15: Características técnicas del tanque a presión para pintura.....	118
Tabla No. 3.16: Características técnicas del compresor .....	123
Tabla No. 3.17: Especificaciones técnicas del equipo infrarrojo.....	126
Tabla No. 3.18 Entradas y salidas necesarias para el PLC .....	127

Tabla No. 3.19: Especificaciones técnicas del variador de frecuencia .....	129
Tabla No. 3.20: Especificaciones técnicas del sensor detección de láminas .....	130
Tabla No. 3.21: Especificaciones técnicas de los sensores del cilindro MRU .....	131
Tabla No. 3.22: Corriente nominal de la fuente.....	131
Tabla No. 3.23: Especificaciones técnicas de la fuente DC.....	132
Tabla No. 3.24: Variables de Control .....	137
Tabla No. 5.1: Variación de velocidad del transportador de rodillos .....	157
Tabla No. 5.2: Variación de velocidad del cilindro neumático MRU .....	158
Tabla No. 5.3: Variación de presión para la apertura de la pistola .....	159
Tabla No. 5.4: Variación de presión para la pulverización de pintura.....	160
Tabla No. 5.5: Variación de presión de los tanques de pintura.....	161
Tabla No. 5.6: Variación de la altura de las pistolas.....	162
Tabla No. 6.1: Costos totales de materiales empleados y manufactura .....	163
Tabla No. 6.2: CIF de producción.....	165
Tabla No. 6.3: Ahorro total del proyecto .....	165
Tabla No. 6.4: Costos de venta del producto .....	171
Tabla No. 6.5: Estado de ganancias/perdidas.....	172
Tabla No. 6.6: Flujo de caja proyectado .....	173
Tabla No. 6.7: Tasa interna de retorno TIR Estado de ganancias/perdidas .....	174
Tabla No. 6.8: Valor actual neto VAN .....	175
Tabla No. 6.9: Razón Beneficio/Costo .....	175
Tabla No. 6.10: Periodo real de la recuperación de la inversión .....	176
Tabla No. 6.11: Punto de equilibrio .....	176
Tabla No. 6.11: Resumen de los criterios de evaluación .....	177

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: Planos mecánicos, eléctricos y de control

ANEXO B: Catálogo de chumaceras ASAHI

ANEXO C: Catálogo de pistolas de pintura Rich Star

ANEXO D: Catálogo de cilindros MRU Chelic Pneumatic Equipment

ANEXO E: Tablas de módulos de sección de tubos estructurales

ANEXO F: Catálogo de Xinje Electronic

ANEXO G: Manual de usuario

## RESUMEN

En el presente proyecto se realiza el diseño e implementado de un sistema automático de pulverización de pintura con un entorno integrado de programación, compuesto de tres etapas: la etapa de transporte, consta de un transportador de rodillos, cuya transmisión es por cadenas y un motor reductor, éste dirige las láminas galvanizadas hacia la segunda etapa; la etapa de precalentamiento que es opcional en la parte de implementación, en donde se aumenta la temperatura de las láminas para una mejor adherencia de las capas de pinturas; la tercera etapa corresponde a la pulverización automática de pintura, donde las láminas se posicionan bajo el cabezal porta pistolas y estas pulverizan una de las tres capas de pintura según corresponda, la cual es elegida mediante una interfaz hombre-máquina por el operador, también le permite tener un control sobre las acciones del sistema automatizado de pintado. La pulverización automática de pintura es un sistema flexible que permite pintar láminas de diferente longitudes ya que cuenta con un sensor para detectar la presencia de la lámina durante la etapa de pintado; los parámetros de operación que se pueden variar en el sistema son: velocidad del transportador de rodillos: [2-10]m/min; velocidad del cabezal de pulverización de pintura entre: [5-10] m/min; regulación de altura del cabezal porta pistolas en un rango de altura de [200 – 300] mm sobre las láminas a pintar.

### PALABRAS CLAVES:

- SISTEMA AUTOMÁTICO
- PULVERIZACIÓN DE PINTURA
- TRANSPORTADOR DE RODILLOS
- LAMINAS GALVANIZADAS
- CABEZAL PORTA PISTOLA



## **ABSTRACT**

In this project the design is done and implemented an automatic spray painting with an integrated programming environment consists of three stages: the stage of transport, consists of a roller conveyor, whose transmission is by chains and a motor reducer, galvanized sheets directs it to the second stage; the preheating step is optional in implementing portion, wherein the temperature of the sheet for better adherence of the paint layers is increased; The third stage corresponds to the automatic spray paint, where the blades are positioned under the die head pistols and these sprayed one of three coats of paint as appropriate, which is chosen by a man-machine operator interface, also will allows control over the actions of automated coating system. The automatic spray paint is a flexible system that allows different lengths paint films because it has a sensor to detect the presence of the sheet during the painting stage; operating parameters which can be varied in the system are: roller conveyor speed: [2-10] m/min; speed paint spray head between: [5-10] m/min; height adjustable head holder guns at a range of up to [200-300] mm on the sheets to paint.

### **KEYWORDS:**

- AUTOMATIC SYSTEM
- SPRAY PAINT
- ROLLER CONVEYOR
- GALVANIZED SHEETS
- HEAD GUN HOLDER

# CAPÍTULO 1

## GENERALIDADES

### 1.1 Introducción.

“CONSTRUCCIONES METALMECÁNICAS” es una empresa dedicada a la construcción de estructuras metálicas que presta servicios a la industria en general. El éxito y permanencia en el medio se basa en el cumplimiento de la política de calidad y normas establecidas en el país.

Un rasgo distintivo de la actividad que realizan, es que son una empresa integrada, la que además de fabricar estructuras metálicas como galpones industriales, puentes entre otros, realiza la fabricación de chapas acanaladas para techos de naves industriales y cubiertas.

Sus orígenes se remontan a su inspirador Ing. German Escobar cuyo fervor, capacidad técnica y empeño en el trabajo permitieron crear una empresa en constante superación. Su estrecha vinculación con la industria metal mecánica orientaron en su especialidad de constructora de estructuras metálicas que requieren los ingenios, marcando así el comienzo de su actividad.

Luego, con sólida trayectoria aseguró una creciente proyección. Desde sus comienzos la empresa crece sin pausa y en la actualidad dispone de un equipamiento e instalaciones apropiadas para el desarrollo de la actividad productiva, extendiéndose de esta forma a otras provincias del Ecuador y cubriendo las necesidades en cuanto se refiere a estructuras metálicas en proyectos tanto de instituciones públicas como privadas.

La Empresa con 1.000 m<sup>2</sup> de superficie cubierta dispone de los distintos departamentos y de una nave industrial, albergando los diversos departamentos administrativos, técnicos e industriales a los que deben sumarse otros como depósitos, bodega y área de herramientas; cuenta con una planta permanente de personal altamente capacitado entre técnicos, operarios y gerencia.

## **1.2 Definición del problema**

Actualmente el proceso de pintura en la empresa se realiza con pistolas manuales, por lo que el pintado no es uniforme, además la preparación de la pintura no es proporcional por lo cual existe desperdicio de material; el tiempo de pintado y secado son altos, ya que estos dependen de la temperatura ambiente llegando a tardar de 12 a 24 horas de secado entre las 3 capas de aplicación que son el wash primer, el fondo y la pintura de acabado; las capas tienen que tener un espesor recomendado mínimo y máximo para su correcta adherencia, en el presente al ser un proceso manual no se cumple con esto.

La empresa ha cotizado la importación de maquinaria automática que se ajuste a sus requerimientos siendo esta de elevados costos y más los aranceles que se tendrían que pagar el tiempo de recuperación de la inversión será más prolongado, por lo que se ha presentado el presente proyecto para dar solución a todo lo antes mencionado y con una inversión mucho más baja.

## **1.3 Justificación**

Es de suma importancia para la empresa mencionada anteriormente implementar la línea de pintado automática para las chapas galvanizadas que ellos producen y así cumplir con todos los estándares de calidad, pero para que la maquina pueda realizar un correcto pintado es necesario un posicionamiento preciso y una velocidad de avance controlable para lograr así que las pistolas automáticas pulvericen la pintura dentro de los márgenes de la chapa metálica.

El presente proyecto está enfocado al diseño y construcción de los sistema automáticos de traslado, precalentando y pintura de las chapas acanaladas; cabe mencionar que en el país esta tecnología se encuentra en proceso de implementación y de gran crecimiento en las industrias dedicadas a la fabricación de muebles de madera, chapa metálica y en la pintura de vehículos pero todas las maquinas son importadas, siendo así está la principal justificación para que el país también se enfoque a la creación e implementación de tecnología y no solo sea consumidor de la misma.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1. General**

Diseñar y construir una máquina automática pulverizadora de pintura en chapas galvanizadas acanaladas para la Empresa “CONSTRUCCIONES METALMECÁNICAS”.

### **1.4.2. Específicos**

1. Definir y detallar los diferentes elementos u equipos a utilizar en el desarrollo del presente proyecto, mediante un marco teórico.
2. Analizar el tipo de pinturas que se va a emplear como materia prima.
3. Diseñar los Sistemas: Mecánico, térmico, eléctrico, electrónico y de control.
4. Construir e implementar el sistema mediante el ensamblaje de cada una de las partes.
5. Realizar pruebas de funcionamiento y la calibración del equipo ensamblado.

## **1.5 Alcance del proyecto**

Como alcances para este proyecto queda estipulado lo siguiente:

- Llegar a implementar este proyecto en la Empresa “CONSTRUCCIONES METALMECÁNICAS”, y poner a punto toda la línea de pintura.
- Diseñar el sistema de precalentamiento, con lo cual la superficie de las chapas galvanizadas llegará al sistema automático de pintado a una temperatura superior a la ambiental, para de esta forma reducir los tiempos de secado de las capas de pintura.

- Controlar las variables del proceso: velocidad del transportador de rodillos, la velocidad de pintado del cabezal porta pistolas, mediante el empleo de los respectivos sensores, actuadores y la programación de un controlador lógico programable o PLC.
- Optimizar la homogenización de pintura sobre las chapas acanaladas, ya que el operario puede parametrizar el tiempo, la calidad y la precisión de la aplicación de pintura desde el touch panel instalado.
- Optimizar y cuantificar la cantidad de sustancia necesaria, aspecto que garantizará el ahorro de material de pintura entre un 20 y 30 por ciento evitando así su desperdicio.
- Programar velocidades de avance de 2.0 hasta 10.0 metros por minuto dependiendo del motor a utilizar y el número de pistolas, rango que permite mejorar los tiempos en aplicación de pintura sin sacrificar la calidad del acabado.
- Alcanzar una velocidad de pintado de 5-10 metros por minuto, logrando así mayor producción en menor tiempo y de mejor calidad.

## **CAPÍTULO 2**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Antecedentes**

Existen muchas posibilidades y equipos para la aplicación de pintura, entre ellos, los robots de pintura o brazos robóticos con pistola automáticas, máquinas que le ofrecen a la industria, excelentes acabados en sus piezas y tiempos adecuados de trabajo.

Aunque parezca increíble y muy a pesar de ser Ecuador, un país fabricante por tradición de productos de chapa metálica, el proceso de acabado y pintura se encuentra realmente en desventaja respecto a otros adelantados en países más desarrolladas tecnológicamente hablando, situación que se presenta –entre otros aspectos– por el atraso tecnológico que padece esta industria nacional.

Variadas son las posibilidades que hoy en día ofrecen las empresas importadoras de maquinaria a los industriales para que mejoren sus procesos de acabado; existen, dentro del segmento de maquinaria para pintar, diversos equipos que solucionan muchos de los problemas que se presentan en esta área productiva.

#### **2.2 Lámina Galvanizada**

Una lámina galvanizada es una lámina de acero que ha sido sometido a un proceso de inmersión en caliente que recubre la lámina al 100% de zinc, con la finalidad de prevenir la corrosión.

Las láminas de acero galvanizado tienen un sin número de aplicaciones, en construcción, automóviles fabricación de herramientas.

La corrosión que se evita con el proceso de galvanizado es causada por la exposición del acero a otros metales en presencia de un electrolito o al oxígeno y agua. Al poner una barrera para cubrir el acero, el galvanizado es capaz de resistir mejor las fuerzas destructivas que puedan actuar contra el acero. Aunque esta capa de

galvanizado se puede deteriorar con el tiempo es un recurso útil para prolongar la vida del acero.

El proceso de producción de una lámina de acero galvanizado por lo general implica nada más que esa hoja de inmersión en zinc muy caliente. Después de que el acero es galvanizado, el recubrimiento de zinc reacciona con el oxígeno para crear óxido de zinc, que reacciona con agua, produciendo hidróxido de zinc. Con el tiempo, hidróxido de zinc reacciona con el dióxido de carbono y el carbonato de zinc forma una capa gris como se observa en la Figura No. 2.1, que ayuda a disminuir la velocidad de reacción del zinc y ayuda a proteger el acero. (*Grupo Arlam, 2012*)



**Figura No. 2.1: Lámina Galvanizada**

### **2.3 Máquinas de pintura**

Son máquinas automáticas, de alta precisión, calidad y compactas como se observa en la Figura No. 2.2, que requieren de muy poco espacio para su emplazamiento. Están diseñadas específicamente para la aplicación de pintura en superficies planas con geometrías y cantos, hecho por el que logran el recubrimiento de las piezas en toda su área y que además permite no sólo la personalización de la producción, sino la

flexibilización de los procesos de acuerdo a los requerimientos del mercado, gracias a su versatilidad.



**Figura No. 2.2: Robot de pintura**

*Fuente: (Cefla Finishing Group, 2010)*

Como ventajas, este sistema de pulverización automática –como también se conoce a este tipo de maquinaria– permite la homogenización de los productos terminados, ya que el operario puede parametrizar el tiempo, la calidad y la precisión de la aplicación de pintura o tinte, por pieza.

Además de lo anterior, existe una característica de gran importancia que lo hace especial frente a los que tradicionalmente utilizan la industria metálica para el proceso en mención, y es que con él se puede optimizar y cuantificar la cantidad de sustancia necesaria, aspecto que garantiza el ahorro de material entre un 20 y 30 por ciento, y evita su desperdicio.

Usualmente, alcanza velocidades de avance de 2.0 hasta 10.0 metros por minuto dependiendo del modelo y el número de pistolas, rango que permite mejorar los



tiempos en aplicación de pintura sin sacrificar la calidad del acabado. Es preciso aclarar que existen algunas referencias –no muy comerciales– cuya velocidad productiva es incluso, hasta de 16 metros por minuto.

Sin embargo, la producción de la máquina puede estar condicionada por parámetros como las características del sustrato sobre el que se aplique la pintura –es decir, poros cerrados o abiertos–, la calidad requerida, la forma de la pieza y los movimientos de la pistola. (*Ruiz Rojas, 2010, pág. 69*)

## 2.4 Partes de las máquinas de pintura

Es importante recalcar que debido a su forma constructiva, este equipo ofrece excelentes acabados, ya que el tinte llega a todas las geometrías de la pieza, de igual forma, gracias a la baja altura de aplicación del material, contribuye a mejorar la precisión de aplicación.

Aunque existan varios modelos y diferentes fabricantes, la gran mayoría de máquinas rociadoras constan de las siguientes partes que también se puede observar en la Figura No. 2.3.

- **(A) Barrera de lectura:** Cuenta con un sistema de reconocimiento de las piezas capaz de detectar, por medio de una barrera con ojos fotoeléctricos, el tamaño y la forma de los productos una vez ingresan al área de rociado.

Los datos son enviados al control de la máquina que se encarga de accionar las pistolas e iniciar el ciclo de pintura, de acuerdo al programa establecido en el computador.

- **(B) Sistema de transporte:** En la gran mayoría de máquinas rociadoras, el transporte de las piezas se realiza por medio de cintas continuas o flejes anchos de acero –cada uno espaciado del otro en aproximadamente 20 milímetros y que logran un ancho total de 1600 milímetros–, accionados por ruedas de gran diámetro, que pueden transportar piezas de diversos tamaños y calidades y que

además, poseen un cabezal desplazable para la recuperación del producto trabajado.

En otros equipos, el movimiento se realiza sobre papel con desenrollado continuo, cinta o banda transportadora; en realidad, el sistema de transporte varía de acuerdo los requerimientos de la pieza trabajada.

Los flejes en acero tienen también la ventaja adicional de extraer y limpiar fácilmente los barnices, mediante un proceso simple y fácil en el que raspan los flejes con una cuchilla.

- **(C) Carro de limpieza:** Sistema de rodillos en fibra de carbono destinados a la extracción y limpieza de todo el rocío o partículas de pintura en el aire (overspray).
- **(D) Sistema de succión de partículas (overspray):** Para el manejo y limpieza del aire, este equipo cuenta con filtros secos, en su gran mayoría de cartón, que atrapan hasta un 95 por ciento de los sólidos. Dicho sistema evacua las neblinas formadas durante la aplicación de la pintura, aplicando un principio simple de ventilación sin turbulencias ni rebotes.
- **(E) Brazo porta pistolas:** Son los brazos en los que están ubicadas las pistolas de rocío. Los modelos más comunes integran cuatro brazos que permiten el montaje de hasta ocho pistolas; y otras de ocho brazos hasta 16 pistolas. Pueden ser de tipo neumático para la aplicación de tintura, o de tipo Airmix para pintura base y acabado; además, una sola máquina puede combinar varios tipos de pistola.

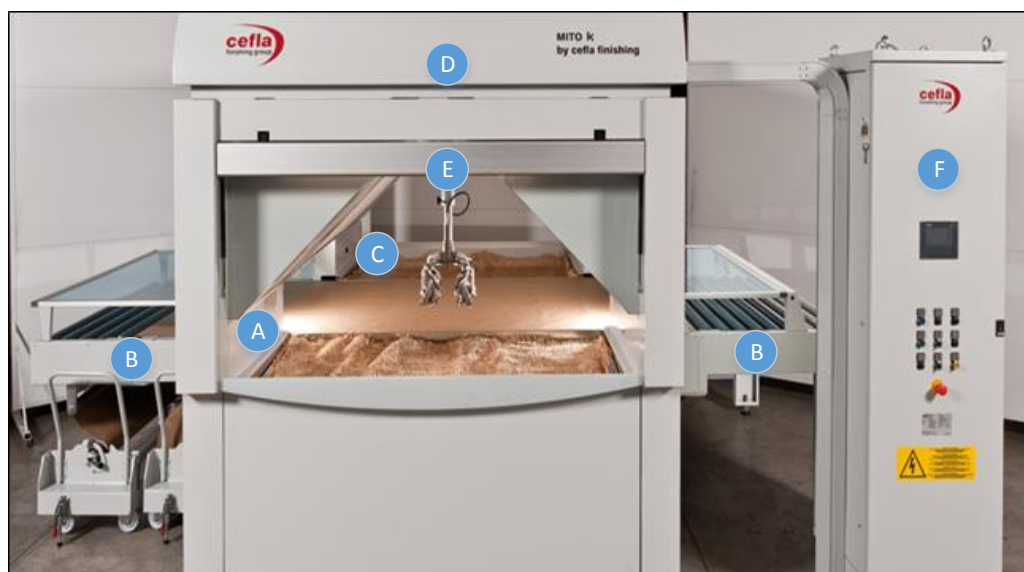
El diseño de estos robots varía de una referencia a otra, generalmente poseen de uno a tres circuitos independientes, con los que se aplica un tipo de pintura en específico.

Las máquinas que cuentan con un sólo circuito están diseñadas, básicamente, con pistolas aerográficas que aplican, exclusivamente, tinte; sin embargo al cambiar las

boquillas de las pistolas y después de someter el equipo a una limpieza exhaustiva, también pueden aplicar fondo o acabado (uno a la vez). Las máquinas de un solo circuito demandan limpieza cada vez que trabajen con otro tipo de pintura diferente al que esté en uso, lo que representa gastos en productos de limpieza y tiempos muertos de producción. Existen también las máquinas de dos circuitos, –uno para la aplicación de tinte y otro para fondo y/o acabado–; y las de tres circuitos– uno para tinte, otro para fondo y otro para acabado, versión ésta última que evita tiempos de recambio y agiliza los procesos.

Estos equipos, están diseñados bajo el principio de pistolas fijas u oscilantes o cabezales rotatorios dispuestos sobre carros laterales, con movimiento alternativo, en sentido inverso para algunos modelos, o los orientados en distintas direcciones con desplazamiento transversal en ambos sentidos, para otros.

- **(F) Control electrónico:** Estas máquinas cuentan con un centro electrónico integrado que, mediante un software hacen posible la programación de los trabajos. Es un software amigable que no necesita de altos conocimientos en sistemas, para su manejo. *(Ruiz Rojas, 2010, págs. 69-70)*



**Figura No. 2.3: Partes de la máquina**

*Fuente: (Cefla Finishing Group, 2010)*

## 2.5 Pistolas de pinturas

Las pistolas de pintura pueden funcionar por gravedad o por succión, que es lo que hace referencia a cómo obtiene la pistola la pintura desde su cámara de reserva. La reserva es un simple contenedor plástico que sirve para retener la pintura.

En una pistola de pintura que funciona por gravedad, estará en la parte superior de la pistola, de forma invertida para que la pintura caiga naturalmente en la pistola.

En una pistola de succión, la reserva está usualmente debajo de la pintura y depende de un pequeño tubo para impulsar la pintura hacia arriba. Otra de las partes más importantes de la pintura es la cápsula de aire, que es una de las cámaras principales de la pistola.

Los hoyos en los extremos de la cápsula de aire controlan el patrón de rocío de la pistola. Dentro de la cápsula de aire se encuentra la boquilla de fluido, que es una extensión interna de la reserva de pintura. Sostiene una aguja de fluido, la cual está conectada al gatillo. Cuando se jala el gatillo, la aguja de fluido se retrae dentro de la boquilla de fluido, creando un espacio donde la pintura puede fluir dentro de la cápsula de aire y ser eyectada desde la pintura. (*Nicholson, 2014*)

### 2.5.1. Funcionamiento

La pintura suele ser un fluido, pero las pistolas de pintura convierten la pintura en pequeñas gotas, como si fueran una niebla. La pintura es atomizada, haciendo que sea fácil de aplicar una delgada capa en un corto período. La pistola utiliza aire comprimido, en una presión de entre 10 y 20 psi, para atomizar y eyectar la pintura.

La pistola posee dos caminos que conducen a su cámara principal, uno para el aire y otro para la pintura. El gatillo está conectado a ambos caminos, causando simultáneamente que el aire y la pintura fluyan en la cápsula de aire.

En las pistolas que funcionan por succión, el flujo de aire causado por jalar el gatillo crea un área de baja presión dentro de la cápsula de aire que impulsa la pintura

hacia arriba de la reserva. En la cápsula de aire, la pintura y el aire se encuentran con el resultado de que la pintura se vuelve atomizada y expulsada por el extremo de la cápsula, donde hay un agujero que permite escapar al aire y a la pintura. (Nicholson, 2014)

### 2.5.2. Pistolas automáticas

Las pistolas pulverizadoras automáticas son utilizadas para pintar autos, casas y cualquier otro proyecto que requiera un trabajo de pintura uniforme. El aire es impulsado desde un compresor de aire, mezclado con pintura y forzado a través de una boquilla para crear una pulverización uniforme para un proyecto de pintura. Se pueden hacer ajustes para determinar la proporción de pintura y aire para permitir un pulverizado uniforme de la pistola. Estos ajustes incluyen el control de fluidos, el control del ventilador y la válvula de ajuste de aire. (Shaw , 2014)



**Figura No. 2.4: Pistolas Automáticas**

*Fuente: (Surmaq, 2013)*

## 2.6 Transportador de Rodillos

El transportador de rodillos es un dispositivo que, como su nombre indica, utiliza rodillos metálicos para facilitar el manejo y traslado de una gran diversidad de objetos, tales como cajas, tarimas, llantas, tambos, palés, paquetes, etc. siempre y cuando cumplan la condición de contar con un fondo regular. En caso contrario, suelen emplearse otro tipo de dispositivos como el transportador de banda, el transportador helicoidal, etc. El transportador de rodillos se utiliza en múltiples procesos industriales y en almacenes. (*Wikipedia, 2014*)



**Figura No. 2.5: Transportadores de rodillos motorizados para palets**

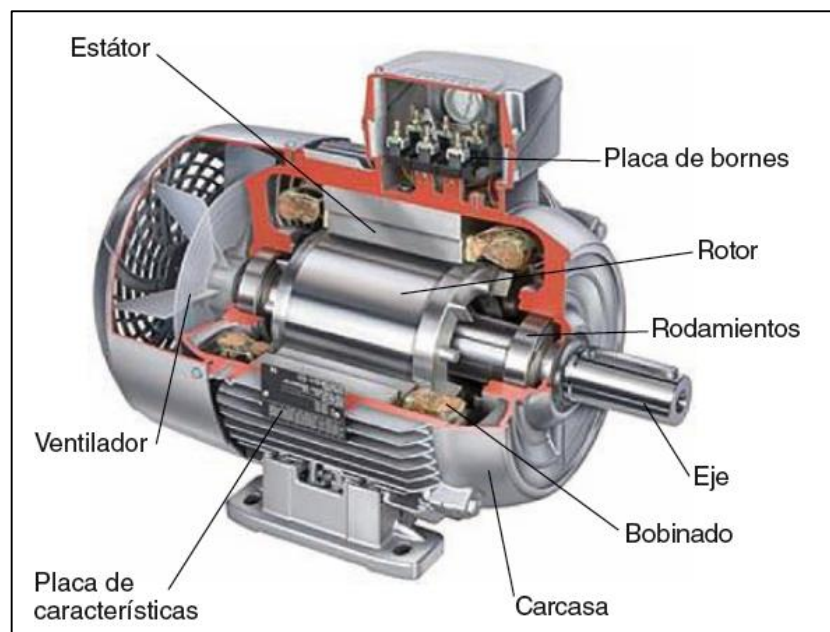
*Fuente: (Mecanizados Villarreal, 2015)*

En el transportador de rodillos es necesario un motor que permita convertir energía eléctrica en energía mecánica en forma de par de torsión (energía de rotación) por medio de una cadena que transmite el movimiento de rodillo a rodillo los cuales van a trasladar las láminas acanaladas galvanizadas, para esto se cuenta con dos alternativas para la generación de la energía.

## 2.6.1. Alternativas

### 2.6.1.1. Alternativa A: Motor de corriente alterna

El funcionamiento de un motor de corriente alterna se basa en la acción del flujo giratorio generado en el estatórico sobre las corrientes inducidas por dicho flujo en el circuito del rotor. El flujo giratorio creado por el bobinado estatórico corta los conductores del rotor (ver partes del motor en la Figura No. 2.6), por lo que se generan fuerzas electromotrices inducidas. Suponiendo cerrado el bobinado rotórico, es de entender que sus conductores serán recorridos por corrientes eléctricas. La acción mutua del flujo giratorio y las corrientes existentes en los conductores del rotor originan fuerzas electrodinámicas sobre los propios conductores que arrastran al rotor haciéndolo girar (Ley de Lenz). (McGraw-Hill, 2014)



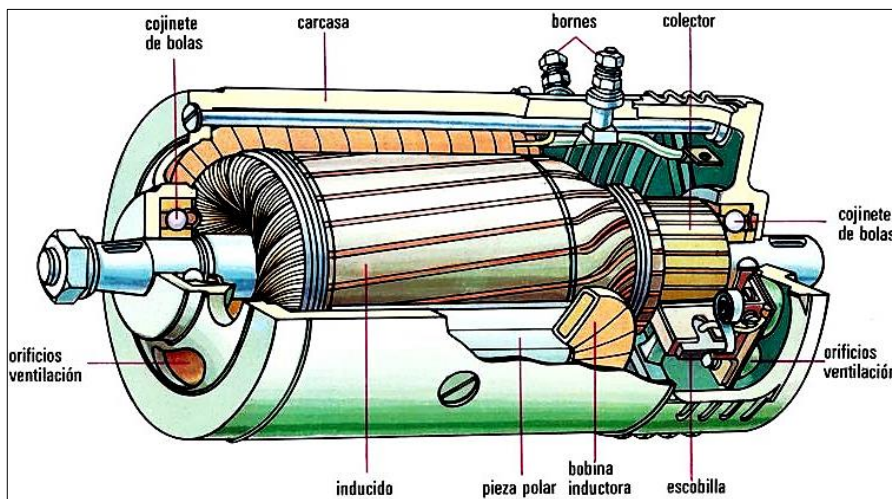
**Figura No. 2.6: Sección del motor de corriente alterna**

*Fuente: (McGraw-Hill, 2014, pág. 289)*

### 2.6.1.2. Alternativa B: Motor de corriente continua

Los motores de corriente continua son máquinas eléctricas que convierten energía eléctrica en energía mecánica, las máquinas de corriente continua tienen un cierto parecido con las de AC ya que por dentro tienen voltajes y corrientes de AC, la

diferencia está en el mecanismo con el que cuenta para convertir los voltajes internos AC en voltajes DC en sus terminales, ver Figura No. 2.7. (De la Hoz Cubas, Dóvalos Pérez, & García Rodríguez, 2008).



**Figura No. 2.7: Motor de corriente continua**

*Fuente: (Funes, 2012)*

### 2.6.2. Reductor

Toda máquina cuyo movimiento sea generado por un motor (ya sea eléctrico, de explosión u otro) necesita que la velocidad de dicho motor se adapte a la velocidad necesaria para el buen funcionamiento de la máquina. Además de esta adaptación de velocidad, se deben contemplar otros factores como la potencia mecánica a transmitir, la potencia térmica, rendimientos mecánicos (estáticos y dinámicos). Esta adaptación se consigue generalmente con uno o varios pares de engranajes que adaptan la velocidad y la potencia mecánica montados en un cuerpo compacto denominado reductor de velocidad o caja reductora, como se observa en la Figura No. 2.8.

Los reductores son elementos mecánicos muy adecuados para el accionamiento de todo tipo de máquinas y aparatos de uso industrial, que se necesiten reducir su velocidad de una forma eficiente, constante y segura.

Al emplear reductores se obtiene una serie de beneficios sobre estas otras formas de reducción. Algunos de estos beneficios son:



- Una regularidad perfecta tanto en la velocidad como en la potencia transmitida.
  - Una mayor eficiencia en la transmisión de la potencia suministrada por el motor.
  - Mayor seguridad en la transmisión, reduciendo los costos en el mantenimiento.
- (Guevara Guevara & Montoya Morales, 2007).*



**Figura No. 2.8: Cajas Reductoras**

*Fuente: (Maquinarias Henriques, 2014)*

## **2.7 Sistema de Pre calentamiento**

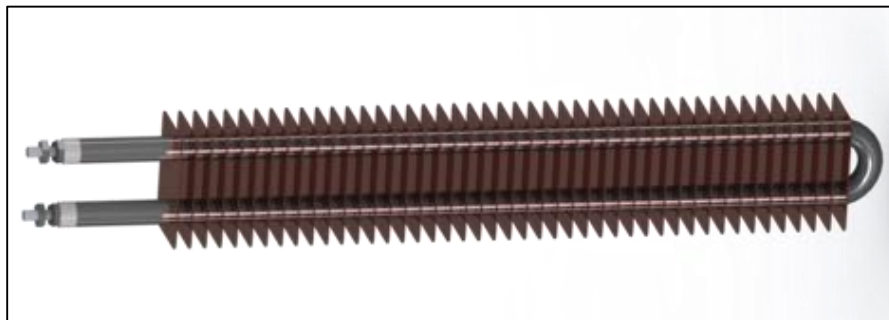
El sistema de pre calentado es opcional y puede estar colocado sobre la estructura del transportador de rodillos dispuesta de tal forma que transmita calor a la superficie de la lámina galvanizada mientras esta se moviliza hacia el sistema de pintura, al elevar la temperatura de la lámina se pretende una mejor adherencia de la pintura y la reducción del tiempo de secado entre capa y capa, la temperatura deberá estar entre un rango determinado, existen muchos elementos para lograr la transmisión de calor a continuación se presentan las alternativas que pueden acoplarse a nuestras necesidades.

## 2.7.1. Alternativas

### 2.7.1.1. Alternativa A: Resistencia Eléctrica

Las resistencias calentadoras convierten energía eléctrica en calor. Procedimiento descubierto por James Prescott Joule cuando en 1841 al hacer circular corriente eléctrica a través de un conductor se liberó calor por encontrar resistencia.

En la actualidad las resistencias calentadoras se utilizan para infinidad de aplicaciones. La gran mayoría de ellas son fabricadas con un alambre de una aleación de níquel (80%) y cromo (20%), ver Figura No. 2.9. Esta aleación soporta temperaturas muy altas (1000° C), es resistivo (condición necesaria para generar calor), es muy resistente a los impactos y es inoxidable. (*Wikipedia, 2007*)



**Figura No. 2.9: Esquema –Resistencia Eléctrica**

*Fuente: (Grab CAD, 2013)*

### 2.7.1.2. Alternativa B: Lámparas de luz infrarroja

La industria del automóvil, desde hace ya algunos años viene utilizando este sistema de secado, y es utilizado parcialmente en las piezas de la carrocería y con la pintura de los componentes.

Con la aplicación de radiaciones infrarrojas mediante equipos móviles, se obtienen secados de pequeñas superficies en periodos de corto tiempo. Pero ¿cómo funciona?; las lámparas infrarrojas emiten una radiación que se propaga como la luz, en línea

recta, y esta es absorbida por los objetos pintados, cuyas superficies se calientan sin elevar su temperatura ambiental.

#### ***A. Clases de longitudes de ondas infrarrojas***

- Onda corta (OC)
- Onda media (OM)
- Onda larga (OL)

Cuando más corta se la longitud de onda, mayor será la cantidad de calor que las radiaciones comunican a cualquier superficie u objeto.

#### ***B. Equipos infrarrojos***

- Secadores manuales.
- Equipos de pequeño tamaño, para reparaciones pequeñas, secadores modulares.
- Paneles radiantes con brazos articulados y montados sobre soportes móviles con ruedas.
- Arcos de secado. Diseñados para ser instalados dentro de la cabina de pintado y están formados por lámparas en forma de arco para asegurar que el color sea uniforme en todas las partes del vehículo. (*Auto Body Magazine, 2013*)



**Figura No. 2.10: Lámparas de luz infrarroja**

*Fuente: (Auto Body Magazine, 2013)*

## 2.8 Sistema Automático de Pintado.

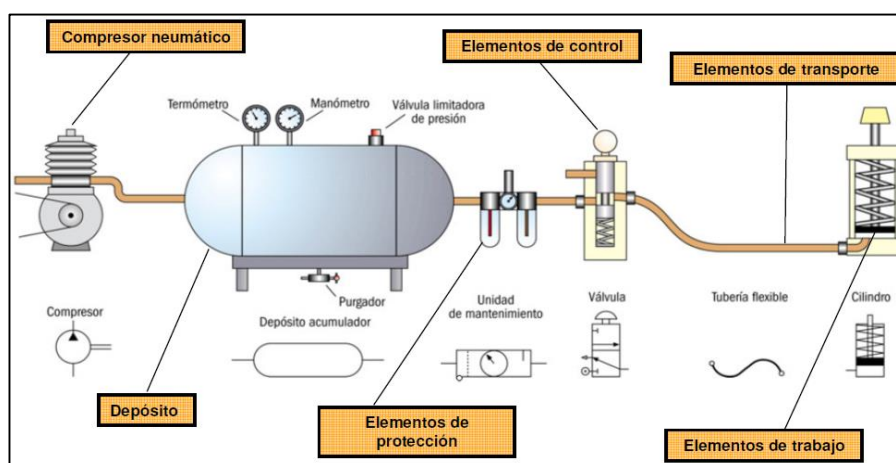
Este sistema realiza el desplazamiento lineal del cabezal que porta las pistolas automáticas de pulverización de pintura, este movimiento debe ser de ida y vuelta con velocidad constante cubriendo todo el ancho de la lámina galvanizada, a continuación se describe los principales elementos y las posibles alternativas del sistema.

### 2.8.1. Alternativas

#### 2.8.1.1. Alternativa A: Desplazamiento neumático

Aprovecha la presión y volumen del aire comprimido por un compresor de aire y lo transforma por medio de actuadores (cilindros y motores) en movimientos rectilíneos y de giro, como se observa en la Figura. No. 2.11. Un sistema básico está compuesto por:

- Fuente de aire.
- Filtro.
- Válvula de retención.
- Válvula de alivio o desahogo.
- Medidor de presión.
- Válvulas de control.
- Tuberías. (*Ferreyra, 2012*)



**Figura No. 2.11: Sistema neumático básico**

*Fuente: (Área Tecnología, 2010)*

Para realizar el posicionamiento del cabezal porta-pistolas mediante un sistema neumático, es necesaria la utilización de un actuador lineal como elemento principal del sistema, encargado de realizar el movimiento constante del cabezal.

- **Actuador lineal**

Un actuador lineal es un cilindro neumático, uno de los elementos más comunes en éste sistema, ver Figura No. 2.12, poseen una o dos entradas de aire para producir carreras de trabajo en un sentido o en ambos sentidos (de salida y retroceso).



**Figura No. 2.12: MRU series Magnetic Rodless Cylinder (Bushing Type)**

*Fuente: (CHELIC PNEUMATIC EQUIPMENTS, 2013)*

### **2.8.1.2. Alternativa B: Desplazamiento electromecánico**

La electromecánica está compuesta por partes eléctricas y mecánicas para conformar un mecanismo. Para este tipo de posicionamiento se considera como alternativa un servomotor o motor a pasos que realice el movimiento lineal del cabezal porta-pistolas sobre unas guías acoplado mediante una correa dentada o un tornillo sin fin, mecanismo que transforma un movimiento rotativo continuo en un movimiento rotativo intermitente, es decir, un elemento gira un cierto ángulo varias veces

dependiendo de las necesidades de velocidad y distancia a cubrir, se detiene un tiempo determinado y realiza el cambio de giro con el mismo ángulo nuevamente, estos sistemas son muy utilizados en los router CNC como muestra la Figura No. 2.13.



**Figura No. 2.13: Router CNC**

*Fuente: (MECALUX logismarket, 2013)*

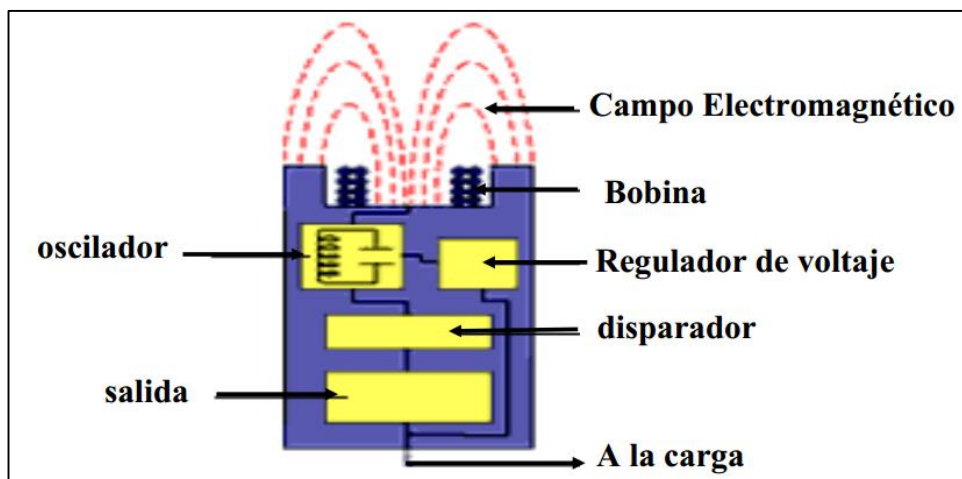
## **2.9 Sistema de detección**

Este sistema permite detectar la presencia de las láminas galvanizadas al ingresar al transportador de rodillos y al llegar a la zona de pintura bajo el cabezal porta-pistolas.

### **2.9.1. Alternativas**

#### **2.9.1.1. Alternativa A: Sensor Inductivo**

Los sensores inductivos son interruptores electrónicos que trabajan sin contacto. Estos sensores incorporan una bobina electromagnética como se observa en la Figura No. 2.14, la cual es usada para detectar la presencia de un objeto metálico conductor. Este tipo de sensor ignora objetos no metálicos. (*Canto, 2009*)

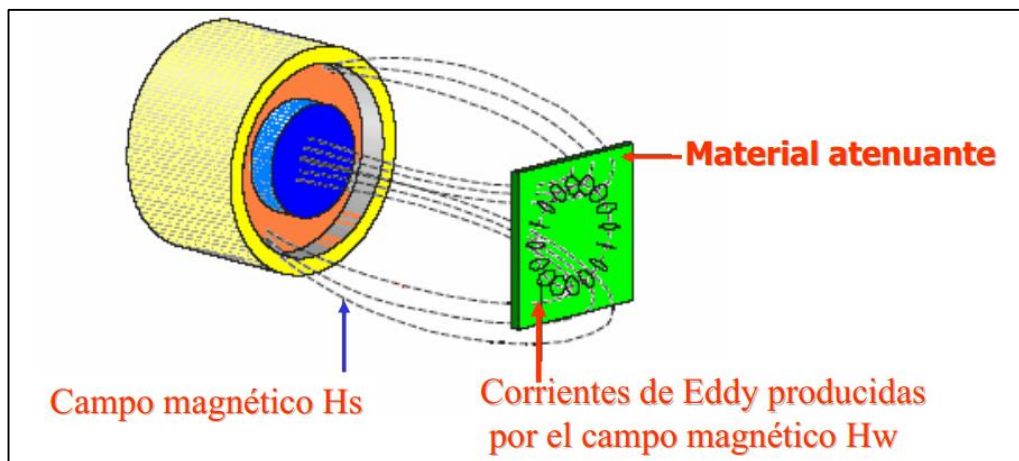


**Figura No. 2.14: Componentes de un sensor inductivo**

*Fuente: (Canto, 2009)*

- **Funcionamiento**

Cuando un objeto metálico entra al campo, circulan corrientes de Eddy dentro del objeto. Esto aumenta la carga en el sensor, disminuyendo la amplitud del campo electromagnético, ver Figura No. 2.15.

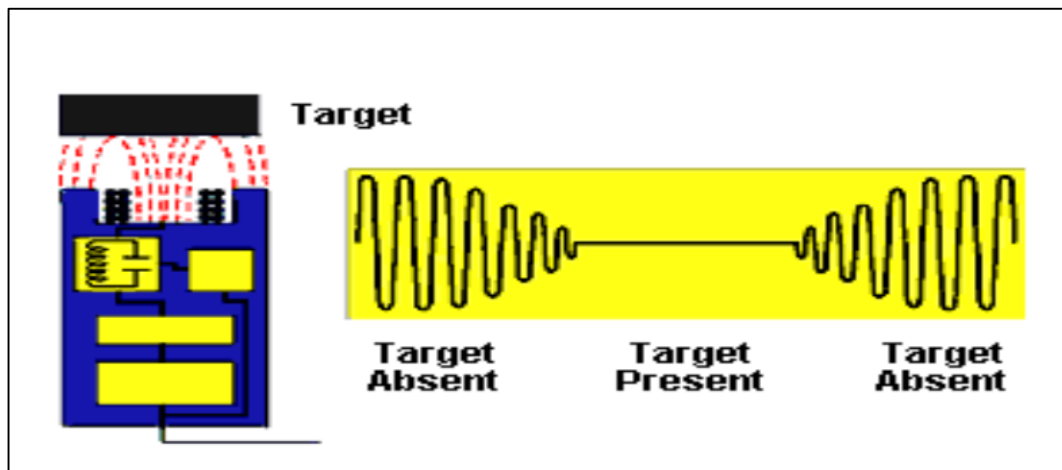


**Figura No. 2.15: Campo electromagnético de un sensor inductivo**

*Fuente: (Canto, 2009)*

El circuito disparador monitorea la amplitud del oscilador y a un nivel predeterminado, conmuta el estado salida del sensor. Conforme el objetivo se aleja del

sensor, la amplitud del oscilador aumenta. A un nivel predeterminado, el circuito de disparo conmuta el estado de la salida del sensor de nuevo a su condición normal, ver Figura No. 2.16. (Canto, 2009).



**Figura No. 2.16: Principio de funcionamiento de un sensor inductivo**

*Fuente: (Canto, 2009)*

### 2.9.1.2. Alternativa B: Sensor óptico

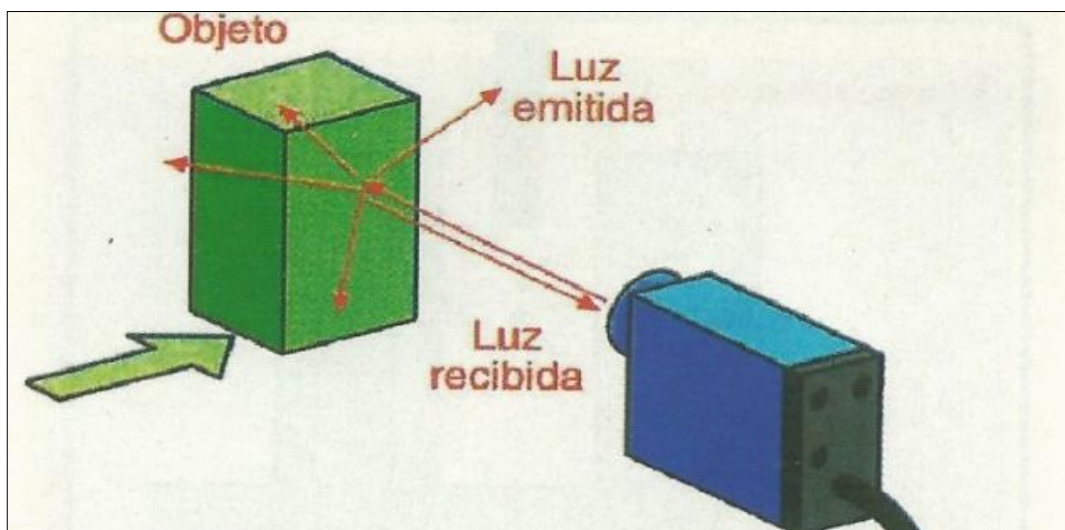
Los sensores ópticos hacen referencia a todos aquellos que son capaces de detectar diferentes factores a través de un lente óptico.

- **Funcionamiento**

Por emisión y recepción de luz. Tanto en el emisor como en el receptor existen pequeñas lentes ópticas que permiten concentrar el haz de luz y se encuentran en un mismo encapsulado. Generalmente trabajan por reflexión de la luz, es decir, el emisor proyecta luz y si esta luz es reflejada por un objeto, el receptor lo detecta, como se indica en la Figura No. 2.17.

Un detalle que resulta muy importante a tener en cuenta es que los sensores ópticos son de los más sensibles que existen y justamente por este motivo es que la mayoría de ellos no duran demasiado tiempo. (Quiroz, 2012)





**Figura No. 2.17: Sensor óptico**

*Fuente: (Electronicasi.com, 2013)*

## 2.10 Control del proceso

El proceso es controlado por un PLC (Controlador Lógico Programable) que utiliza la información de todas las partes del sistemas para generar acciones de control correspondientes para cada una de las etapas del proceso de dosificación e interactúa con una HMI (Interfaz Humano Máquina) para que el operario tenga el mando del sistema por completo, a continuación se describe estos elementos mencionados:

### 2.10.1. PLC

Un autómatas programable industrial (API) o controlador lógico programable (PLC), es un equipo electrónico, programable en lenguaje no informático, diseñado para controlar en tiempo real y en ambiente de tipo industrial, procesos secuenciales, ver Figura No. 2.18.

Los autómatas programables son máquinas secuenciales que ejecutan correlativamente las instrucciones indicadas en el programa de usuario almacenado en su memoria, generando unas ordenes o señales de mando a partir de las señales de entrada leídas de la planta (aplicación): al detectarse cambios en las señales, el autómatas reacciona según el programa hasta obtener las ordenes de salida necesarias.



**Figura No. 2.18: Controlador lógico programable**

*Fuente: (Xinje, 2012)*

Esta secuencia se ejecuta continuamente para conseguir el control actualizado del proceso.

La secuencia básica de operación del autómatas se puede dividir en tres fases principales:

- Lectura de señales desde la interfaz de entradas.
- Procesado del programa para obtención de las señales de control.
- Escritura de señales en la interfaz de salidas.

A fin de optimizar el tiempo, la lectura y escritura de las señales se realiza a la vez para todas las entradas y salidas; Entonces, las entradas leídas de los módulos de entrada se guardan en una memoria temporal (Imagen entradas). A esta acude la CPU en la ejecución del programa, y según se va obteniendo las salidas, se guardan en otra memoria temporal (imagen de salida). Una vez ejecutado el programa completo, estas imágenes de salida se transfieren todas a la vez al módulo de salida.

El autómata realiza también otra serie de acciones que se van repitiendo periódicamente, definiendo un ciclo de operación.

- **Funciones de un PLC**

**Detección:** Lectura de la señal de los captadores distribuidos por el sistema de fabricación.

**Mando:** Elaborar y enviar las acciones al sistema mediante los accionadores y preaccionadores.

**Diálogo hombre máquina:** Mantener un diálogo con los operarios de producción, obedeciendo sus consignas e informando del estado del proceso.

**Programación:** Para introducir, elaborar y cambiar el programa de aplicación del autómata. El dialogo de programación debe permitir modificar el programa incluso con el autómata controlando la máquina.

**Redes de comunicación:** Permiten establecer comunicación con otras partes de control. Las redes industriales permiten la comunicación y el intercambio de datos entre autómatas a tiempo real. En unos cuantos milisegundos pueden enviarse telegramas e intercambiar tablas de memoria compartida.

**Sistema de supervisión:** También los autómatas permiten comunicarse con ordenadores provistos de programas de supervisión industrial. Esta comunicación se realiza por una red industrial o por medio de una simple conexión por el puerto serie del ordenador.

**Control de procesos continuos:** Además de dedicarse al control de sistemas de eventos discretos los autómatas llevan incorporadas funciones que permiten el control de procesos continuos. Disponen de módulos de entrada y salida analógicas y la posibilidad de ejecutar reguladores PID que están programados en el autómata.

**Entradas – Salidas distribuidas:** Los módulos de entrada salida no tienen por qué estar en el armario del autómeta. Pueden estar distribuidos por la instalación, se comunican con la unidad central del autómeta mediante un cable de red.

**Bus de campo:** Mediante un solo cable de comunicación se pueden conectar al bus captadores y accionadores, reemplazando al cableado tradicional. El autómeta consulta cíclicamente el estado de los captadores y actualiza el estado de los accionadores. (Loiola Zubia, 2001).

### 2.10.2. Interfaz hombre máquina

La sigla HMI es la abreviación en ingles de Interfaz Hombre Maquina. Podemos pensarlos como una “ventana” de un proceso. Esta ventana puede estar en dispositivos especiales como paneles de operador o en una computadora. Estos sistemas en computadoras se los conoce también como software HMI o de monitoreo y control de supervisión.

Las señales del procesos son conducidas a la interfaz por medio de dispositivos como tarjetas de entrada/salida en la computadora, PLC’s (Controladores lógicos programables), RTU (Unidades remotas de I/O) o DRIVER’s (Variadores de velocidad de motores), como se observa en la Figura No. 2.19. Todos estos dispositivos deben tener una comunicación que entienda el HMI.

- **Funciones de un software HMI**

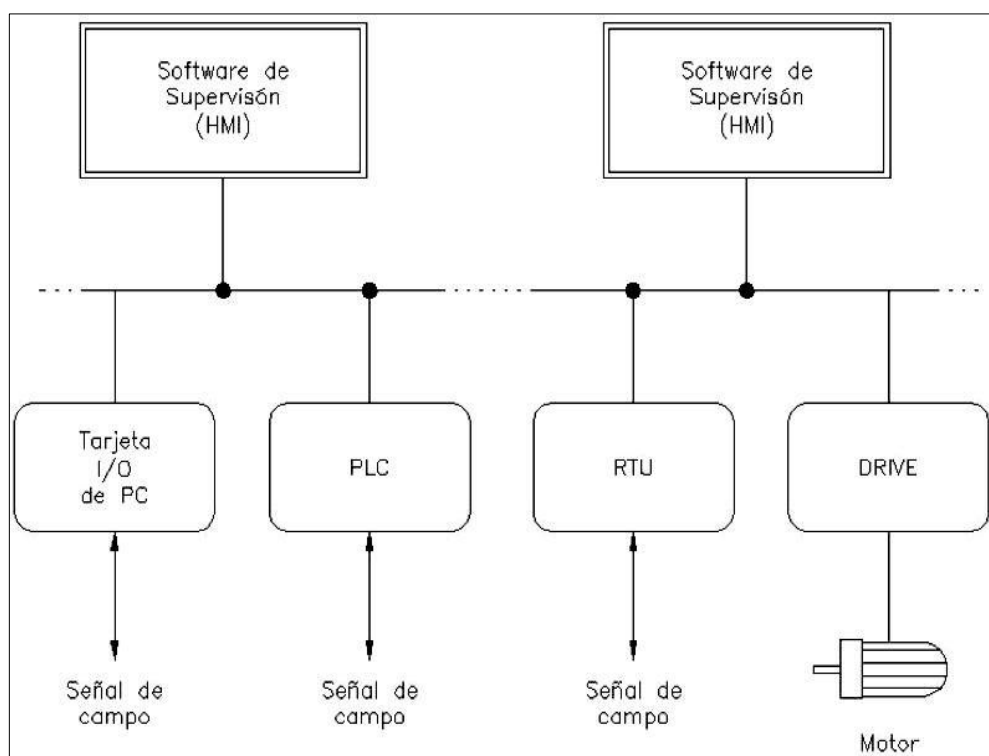
**Monitoreo:** Es la habilidad de obtener y mostrar datos de la planta en tiempo real. Estos datos se pueden mostrar como números, textos o gráficos que permitan una lectura más fácil de interpretar.

**Supervisión:** Esta función permite junto con el monitoreo la posibilidad de ajustad las condiciones de trabajo del proceso directamente desde la computadora.

**Alarmas:** Es la capacidad de reconocer eventos excepcionales dentro del proceso y reportar estos eventos. Las alarmas son reportadas basándose en límites de control preestablecidos.

**Control:** Es la capacidad de aplicar algoritmos que ajustan los valores del proceso y así mantener estos valores dentro de ciertos límites. El control va más allá del control de supervisión removiendo la necesidad de interacción humana. Sin embargo la aplicación de esta función desde un software corriendo en un PC puede quedar limitada por la confiabilidad que quiere obtenerse del sistema.

**Históricos:** Es la capacidad de mostrar y almacenar en archivos, datos del proceso a una determinada frecuencia. Este almacenamiento de datos es una poderosa herramienta para la optimización y corrección de procesos. (*Universidad Nacional de Quilmes, n.d.*)



**Figura No. 2.19: Esquema de supervisión de una HMI**

*Fuente: (Universidad Nacional de Quilmes, n.d.)*

## CAPÍTULO 3

### DISEÑO DE LOS SISTEMAS

#### 3.1 Descripción de las etapas del sistema

La etapa de alimentación del sistema se va a realizar manualmente en donde el operario ingresa la lámina galvanizada al transportador de rodillos, donde luego pasa al sistema opcional de precalentamiento que dará una temperatura uniforme a la superficie de la lámina con lo cual se tendrá una mejor adherencia de la capa de pintura, inmediatamente se posiciona bajo el cabezal porta-pistolas para realizar el pintado automático.

Para el posicionamiento se ha diseñado un transportador de rodillos, cuyo giro es generado mediante se empleará un motor eléctrico junto a un variador de frecuencia o un controlador electrónico para lograr su arranque y control de velocidad, la lámina galvanizada pasará hacia cada una de las dos etapas.

El sistema de precalentamiento es una etapa opcional y que solo será diseñada y analizada debido a que debe acoplarse a la velocidad de las etapas de transporte y pintado para no causar un cuello de botella en el sistema de pulverización de pintura que reduce la cantidad de metros de láminas pintadas, cabe mencionar que en esta etapa no se pretende realizar el secado total de la pintura sobre las láminas.

El sistema automático de pulverización de pintura consta de un cabezal porta-pistolas acoplado a un cilindro neumático Magnetic Rodless Cylinder (Bushing Type-MRU series) los cuales están ubicados en una estructura base sobre el transportador de rodillos.

El cabezal tiene dos grados de libertad uno en el eje X gracias al cilindro neumático que tiene una carrera a lo largo de sus guías que permite cubrir todo el ancho de la lámina galvanizada, el otro grado de libertad es en el eje Y mediante unos soportes de los ejes que sostienen a las pistolas el cual permite la variación de la altura de todas las pistolas en conjunto o independientemente, esto se da porque se requiere de una

separación variable entre las pistolas pulverizadoras y la lámina a ser pintadas, debido a que la máquina dosifica distintos tipos de pinturas por capas y cada capa tiene alturas diferentes.

El control del motor eléctrico, el cilindro neumático, las pistolas pulverizadoras automáticas y la manipulación de la variable de temperatura del sistema de precalentamiento es realizado mediante un PLC.

### **3.2 Consideraciones para el diseño del sistema de pintado**

Ante la necesidad de diseñar una máquina automática pulverizadora de pintura, se establecen una serie de requerimientos que debemos satisfacer con el diseño a realizarse. Por lo tanto, en este capítulo se fundamentarán las necesidades a cubrir, tomando en cuenta todos los detalles como: dimensiones, operaciones, comportamiento, etc.

El sistema debe ser capaz de pintar una lámina de ancho 1.1 m y un largo entre [1.8m hasta 10m], y entregar una cantidad de [2m a 5m] de láminas pintadas por minuto y pintar 3 diferentes capaz de pinturas con un espesor variable entre [5 a 20 micras] con una tolerancia de  $\pm 2$  micras con respecto al espesor que se requiere entre cada capa. Esta operación de pintado se deberá realizar en periodos de tiempo más cortos en comparación a los que un operador se demoraría en hacerlo de forma manual.

Los materiales constructivos y equipos a utilizar para el sistema de pintado automático deben ser resistentes, dimensionados correctamente y cumplir con las normas nacionales e internacionales como las INEN, ISO, ANSI, AISI, SAE entre otras para garantizar la funcionalidad, estabilidad del sistema y de esta manera minimizar los riesgos de deflexiones, riesgos para el operador, fracturas, malfuncionamiento en general y contaminación de las capas de pintura.

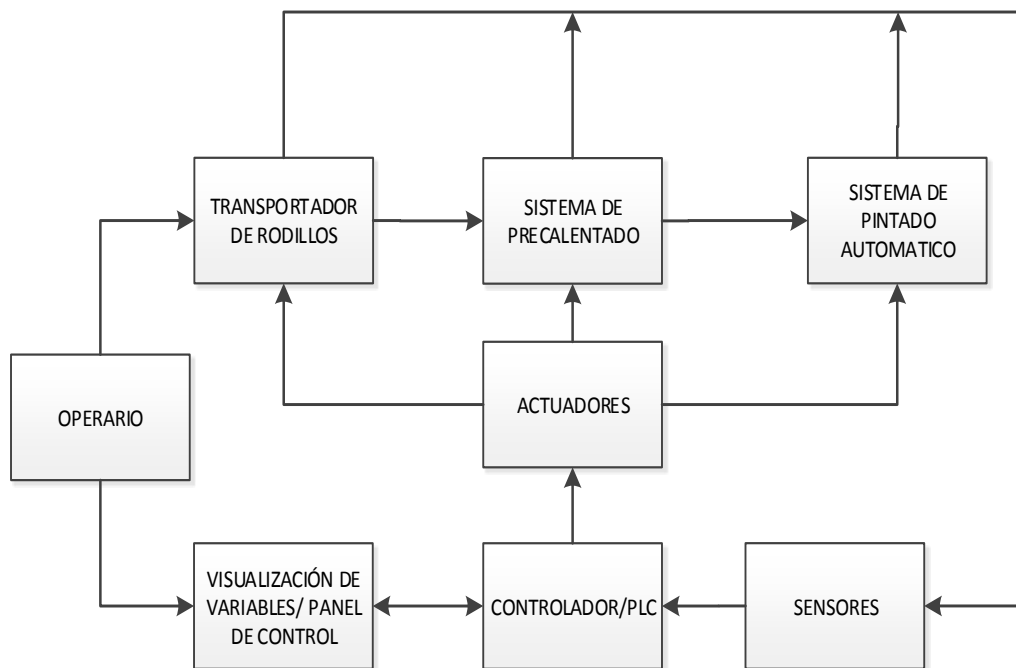
### **3.3 Principio básico del funcionamiento**

Es relevante destacar la manera como se realizará el proceso para esto se requiere de la presentación de un diagrama del proceso en general donde se muestran los pasos

primordiales del funcionamiento del sistema, el diagrama se lo puede observar en la Figura No. 3.1.

Existen dos formas de hacer llegar las láminas a la etapa de alimentación:

- Un operador ubique las láminas una por una en el transportador de rodillos.
- Adaptar un sistema automáticos de alimentación al sistema de transporte (este sistema puede ser propuesto más adelante como otro tema de tesis).



**Figura No. 3.1: Diagrama de descripción del Proceso**

Posterior a la alimentación de láminas pasará por el sistema de precalentado (opcional) el cual debe estar dentro los rangos establecidos, luego se procede a ubicar la lámina bajo el cabezal porta-pistolas con el sistema de posicionamiento, si detecta una lámina bajo las pistolas pulverizadoras el sistema de posicionamiento se detiene para que el cabezal pueda hacer las pulverizadas necesarias de pintura de acuerdo como se ha configurado en la programación, de lo contrario continúa girando los rodillos transportadores.



En este punto el operario puede seleccionar desde la pantalla HMI cuál de las 3 etapas de pintura será la que toca pulverizar sobre las láminas, estas son:

- Wash primer.
- Fondo.
- Acabado.

Por último el sistema de posicionamiento despachará las láminas pintadas del color requerido por el usuario.

Los problemas principales radican en la pulverización exacta de pintura y en la velocidad de avance de la lámina, debido a que se debe lograr una sincronización entre el inicio de pintado y el instante en que se encuentra detenido el sistema de posicionamiento o a su vez la reducción de velocidad del transportador de rodillos; así como también el ancho de roció y la sobre capa de pintura que se debe evitar y la pulverización se detenga en el momento que cubra toda superficie galvanizada para que instantes después el sistema de posicionamiento despache la lámina evitando así el desperdicio de pintura.

### **3.4 Selección de alternativas**

Se tomará en consideración las diferentes posibilidades que existen para cada uno de los sistemas de transporte, precalentado, posicionamiento, pintado y control. Se analiza las ventajas y desventajas de cada una de las alternativas y se selecciona la que esté más acorde con los requerimientos y necesidades del usuario mediante una matriz morfológica.

#### **3.4.1. Parámetros de evaluación**

Existen varios criterios de evaluación en el diseño Mecatrónico como son la seguridad, la confiabilidad, la facilidad para fabricar, facilidad de control, costo de operación y mantenimiento bajos, tamaño reducido, materiales adecuados, apariencia, ergonomía, tiempo de vida útil, etc.; a continuación se presentan los criterios que se

consideran los más apropiados para ser utilizados en el proceso de selección de alternativas.

#### **3.4.1.1. Costo**

Representa un parámetro determinante al momento de seleccionar una alternativa ya que involucra no solo el costo inicial de la máquina (materiales, accesorios, manufactura, y tecnología), sino también los costos de operación y mantenimiento. En el caso de la máquina que se desea diseñar, el costo debe ser más competitivo que el de las máquinas usadas y nuevas que se pueden encontrar en el mercado sin dejar de lado la eficiencia y la estética.

#### **3.4.1.2. Versatilidad**

Se refiere al comportamiento de cada sistema en un solo conjunto. Es decir, el desempeño de todos los elementos al acoplarse al funcionamiento normal para el que fue diseñada la máquina. Es de gran importancia este parámetro dentro de las máquinas destinadas a la producción ya que cualquier fallo constituye contratiempos muy serios.

#### **3.4.1.3. Facilidad de Control**

Toda máquina automática o semiautomática requiere un sistema de control el mismo que se seleccionará evaluando parámetros de complejidad de movimiento, de conexión, de operación y funcionalidad del mismo.

#### **3.4.1.4. Tiempo de vida útil**

Es importante la determinación de la vida útil del elemento que se utilice para evitar la reposición de un elemento nuevo que implica inversión económica y de tiempo para volver a instalarlo.

#### **3.4.1.5. Mantenimiento**

El mantenimiento en una máquina es vital para alargar su vida útil. Todos los sistemas y elementos que comprenden la máquina están sujetos a fallos por lo que deben ser diseñados de tal manera que exista la posibilidad de repararlos o

reemplazarlos. Esto implica que en la selección de alternativas se debe considerar la facilidad para llegar a un determinado elemento dentro de un conjunto, para la realización de tareas de ensamble y/o mantenimiento.

### 3.4.2. Cuadros comparativos de las alternativas

A continuación se presentan cuadros comparativos de ventajas y desventajas de las alternativas presentadas anteriormente con lo que podemos analizar y seleccionar la mejor decisión.

#### 3.4.2.1. Sistema de transporte: Transportador de rodillos.

**Tabla No. 3.1:**

#### Alternativas del motor para el transportador

MOTOR DEL TRANSPORTADOR			
ALTERNATIVAS	NOMBRE	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<b>Alternativa A</b>	Motor de corriente alterna	Mayor tiempo de vida util.	Trabajan a una velocidad fija.
		Son más baratos.	No pueden operar a velocidades bajas.
		Tiene más disponibilidad de repuestos.	Necesita de un equipo adicional para controlar su velocidad.
<b>Alternativa B</b>	Motor de corriente continua	Ajuste de velocidad mediante el aumento de la tensión.	Tienen un alto costo.
		Se pueden utilizar tanto para aplicaciones de baja potencia como de alta potencia.	Piezas internas tienden a desgastarse en menor tiempo debido a la fricción.
		Ocupa un espacio reducido.	Necesita de un transformador de voltaje.

### 3.4.2.2. Sistema de precalentamiento.

**Tabla No. 3.2:**

#### **Alternativas Sistema de Precalentamiento**

<b>SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO</b>			
<b>ALTERNATIVAS</b>	<b>NOMBRE</b>	<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
<b>Alternativa A</b>	Resistencias eléctricas	Mayor tiempo de vida útil.	Necesitan un controlador de temperatura deseada.
		Son más baratas.	Necesita la construcción de una cámara térmica.
		Disponibilidad de repuestos.	Instalación en mayor tiempo.
<b>Alternativa B</b>	Lámparas de luz infrarroja	Calienta el material de adentro hacia afuera.	Calientan solo en la dirección de la onda.
		Menor tiempo de secado.	Tienen un alto costo.
		Sistema flexible adaptable a cualquier proceso y de fácil instalación.	Costo de repuestos elevados.

### 3.4.2.3. Sistema automático de pintura: Desplazamiento.

**Tabla No. 3.3:**

#### **Alternativas de Desplazamiento del Cabezal de Pintura**

<b>DESPLAZAMIENTO DEL CABEZAL DE PINTURA</b>			
<b>ALTERNATIVAS</b>	<b>NOMBRE</b>	<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
<b>Alternativa A</b>	Desplazamiento neumático	Instalación en menor tiempo.	Necesitan de una instalación de aire comprimido.
		Equipos relevante mas baratos.	No pueden posicionarse en coordenadas específicas.
		Tiene disponibilidad de repuestos.	Necesitan de unidades de mantenimiento para el filtrado de aire.
<b>Alternativa B</b>	Desplazamiento electromecánico	Posicionamiento en coordenadas específicas.	Piezas internas tienden a desgastarse en menor tiempo debido a la fricción.
		Versatilidad en cambio de velocidad y dirección.	Tienen un alto costo.
		Ocupa un espacio reducido.	Control mas complejo.

### 3.4.2.4. Sistema de detección: Sensores.

**Tabla No. 3.4:**

#### Alternativas de sensores para el sistema de detección

SISTEMA DE DETECCION			
ALTERNATIVAS	NOMBRE	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<b>Alternativa A</b>	Sensor inductivo	Robustos y tienen vida útil larga.	Detectan solo objetos metálicos.
		Facil instalación.	Extremadamente sensibles a factores ambientales: humedad, lluvia.
		Bajo costo.	Distancia de detección corta.
<b>Alternativa B</b>	Sensor óptico	Distancia de detección alta.	Detectan objetos metálicos y no metálicos.
		Inmunes a las interferencia eléctricas.	Extremadamente sensibles a factores ambientales: temperatura y humedad.
		Flexibles en diferentes aplicaciones.	Tiempo de vida util menor.

### 3.4.3. Ponderación de las alternativas

Las alternativas serán valoradas según los parámetros de evaluación antes mencionados, de acuerdo al siguiente criterio.

1. Poco recomendable
2. Recomendable
3. Ideal
0. No aplica

Tabla No. 3.5:

## Evaluación alternativas motor del transportador

MOTOR DEL TRANSPORTADOR							
Alternativas							Promedio
	Costo	Versatilidad	Facilidad de Control	Tiempo de vida útil	Mantenimiento		
<b>A</b>	3	2	2	3	2		2,4
<b>B</b>	1	2	2	1	1		1,4

Como se puede observar en la Tabla No. 3.5 luego de realizar las respectivas ponderaciones para el tipo de motor del transportador se tiene que la alternativa A es la de mayor peso y corresponde al motor de corriente alterna.

Tabla No. 3.6:

## Evaluación alternativas sistema de precalentamiento

SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO							
Alternativas							Promedio
	Costo	Versatilidad	Facilidad de Control	Tiempo de vida útil	Mantenimiento		
<b>A</b>	2	2	1	2	2		1,8
<b>B</b>	1	3	3	3	2		2,4

Como se puede observar en la Tabla No. 3.6 luego de realizar las respectivas ponderaciones para el tipo de sistema de precalentamiento se tiene que la alternativa B es la de mayor peso y corresponde al sistema de luz infrarroja.

Tabla No. 3.7:

## Evaluación alternativas desplazamiento del cabezal

DESPLAZAMIENTO DEL CABEZAL PORTA PISTOLAS							
Alternativas							
	Costo	Versatilidad	Facilidad de Control	Tiempo de vida útil	Mantenimiento	Promedio	
<b>A</b>	2	3	3	3	3	2,8	
<b>B</b>	1	2	2	1	1	1,4	

Como se puede observar en la Tabla No. 3.7 luego de realizar las respectivas ponderaciones para el tipo de desplazamiento del cabezal porta pistolas se tiene que la alternativa A es la de mayor peso y corresponde al desplazamiento neumático.

Tabla No. 3.8:

## Evaluación Alternativas del sistema de detección

SISTEMA DE DETECCION							
Alternativas							
	Costo	Versatilidad	Facilidad de Control	Tiempo de vida útil	Mantenimiento	Promedio	
<b>A</b>	2	3	2	3	2	2,4	
<b>B</b>	1	2	2	2	2	1,8	

Como se puede observar en la Tabla No. 3.8 luego de realizar las respectivas ponderaciones para el tipo de sistema de detección se tiene que la alternativa A es la de mayor peso y corresponde al sensor inductivo.



#### **3.4.4. Conclusiones de la selección de alternativas**

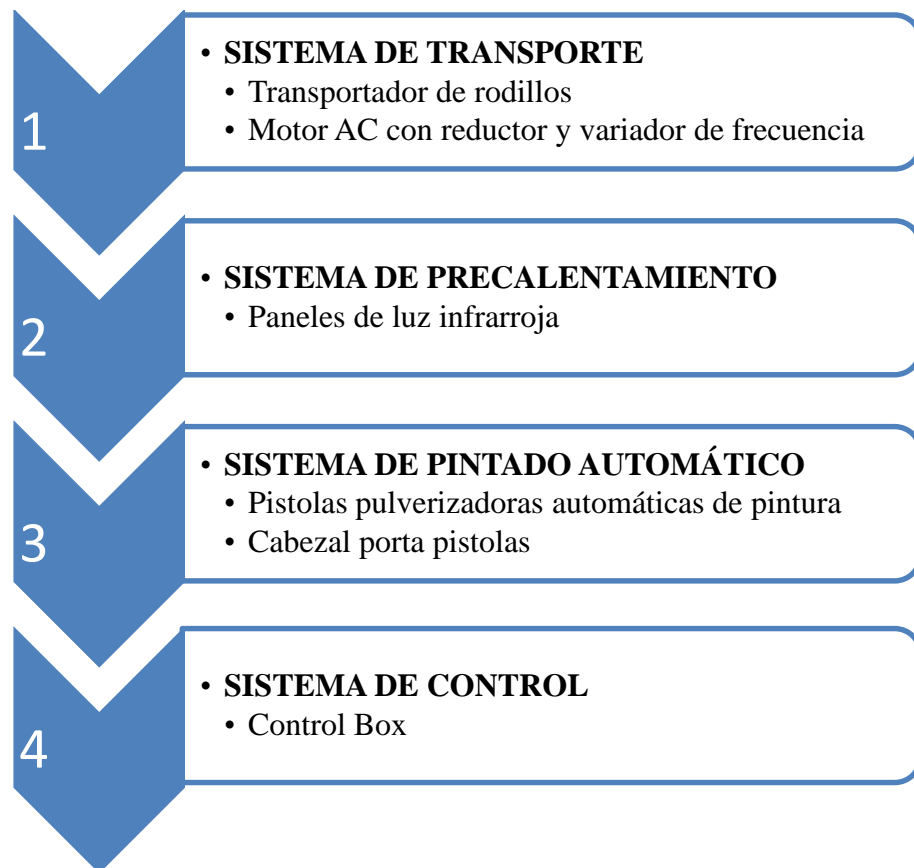
Como resultado de la evaluación de cada una de las alternativas que existen en el mercado, se selecciona las mejores opciones para cada uno de los sistemas que conformarán la máquina.

- El sistema de traslado conformado por un transportador de rodillos cuyo movimiento estará generado por un motor de corriente alterna con un reductor.
- El sistema de precalentamiento (opcional) elegido son paneles de luz infrarroja, y su implementación está determinada por la empresa en el momento que ellos crean oportuno.
- El desplazamiento del cabezal porta pistolas dado por el movimiento de un actuador lineal neumático.
- El sistema de detección elegido por la necesidad de detectar una lámina metálica está dado por un sensor inductivo.
- El control que gobernará la máquina y cada uno de sus sistemas será dado por un Controlador Lógico Programable.

### **3.5 DISEÑO MECÁNICO DE LOS SISTEMAS**

Para el diseño mecánico se divide a la máquina pulverizadora automática de pintura en los siguientes subsistemas con sus principales componentes, como se muestra en la Figura No. 3.2.

De esta forma tenemos una visión más amplia para poder diseñar cada una de las etapas analizando sus necesidades y seleccionando los mejores elementos que se adapten y cumplan con los requerimientos y normas establecidas, lo cual se verá reflejado al final en la construcción y puesta en marcha del sistema en cuya etapa no se debería tener problemas de rediseño.



**Figura No. 3.2: Esquema general de la máquina**

### **3.5.1. Factor de seguridad**

El termino factor de diseño FS, es una medida de la seguridad relativa de un componente bajo la acción de una carga. En la mayor parte de los casos, la resistencia del material con que se fabrica un componente se divide entre el factor de seguridad para determinar un esfuerzo de diseño que a veces se llama esfuerzo admisible o esfuerzo permisible.

Entonces, el esfuerzo real que se desarrolla en el componente debe ser menor que el esfuerzo de diseño.

A continuación se describe el factor de seguridad para distintos materiales dependiendo de la naturaleza de la aplicación, el ambiente, la naturaleza de las cargas

sobre el componente a diseñar y el grado de confianza en los datos que emplean en el proceso de diseño.

- ***Materiales Dúctiles:***

$F_s=1,25$  a  $2,0$ : El diseño de estructura bajo cargas estáticas, para la que haya un alto grado de confianza en todos los datos del diseño.

$F_s=2,0$  a  $2,5$ : Diseño de elementos de máquinas bajo cargas dinámicas con una confianza promedio en todos los datos de diseño.

$F_s=2,0$  a  $2,5$ : Diseño de elementos de máquinas bajo cargas dinámicas con una confianza promedio en todos los datos de diseño.

$F_s=2,5$  a  $4,0$ : Diseño de estructuras o elementos de máquinas bajo cargas dinámicas con incertidumbre acerca de las cargas, propiedades de los materiales, análisis de esfuerzos o el ambiente.

$F_s= 4,0$  o más: Diseño de estructuras o elementos de máquinas bajo cargas dinámicas con incertidumbre en cuanto a alguna combinación de cargas, propiedades de los materiales, análisis de esfuerzos o el ambiente.

- ***Materiales Frágiles:***

$F_s=3,0$  a  $4,0$ : Diseño de estructuras bajo cargas estáticas, para la que haya un alto grado de confianza en todos los datos del diseño.

$F_s=4,0$  a  $8,5$ : Diseño de estructuras estáticas o elementos de máquinas bajo cargas dinámicas, con incertidumbre acerca de las cargas, propiedades de los materiales, análisis de esfuerzos o el ambiente.

Fs=2,0 a 2,5: Diseño de elementos de máquinas bajo cargas dinámicas con una confianza promedio en todos los datos de diseño.

### **3.5.2. DISEÑO DEL SISTEMA DE TRANSPORTE**

#### **3.5.2.1. Análisis de las necesidades de la etapa**

- Una alimentación manual y controlada al inicio del transportador de rodillos.
- Velocidad variable entre 2 -10 m/min del avance de las láminas galvanizadas.
- Las láminas deben avanzar rectas y no correr el riesgo de salirse de los rodillos del transportador.

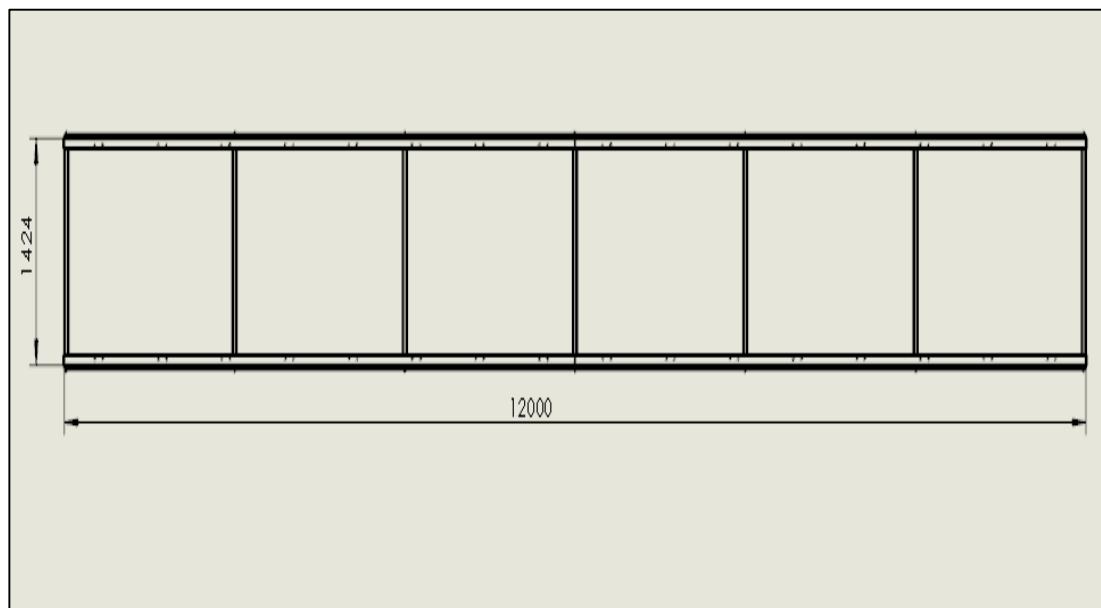
#### **3.5.2.2. Especificaciones técnicas: Transportador horizontal de rodillos**

- Dimensiones: Longitud 12 m por 1,412 m de ancho con rodillos de 1,300 m, altura sobre piso 525 mm.
- Estructura del bastidor en perfilería de acero para laterales y travesaños, para una carga máxima de 1000 Kg.
- Con 14 patas cortas, con placas de regulación al piso.
- Bastidor pintado con fondo anticorrosivo y recubrimiento sintético.
- 16 Rodillos de acero, diámetro exterior 2½" (63,5 mm), espesor 1,5 mm, con espigas rígidas diámetro 12 mm armadas mediante doble disco interno de soporte, soldadas, con extremos maquinados para apoyo en chumaceras.
- Apoyo de rodillos sobre chumaceras de piso UCP-201 para eje de 12 mm atornilladas a los laterales mediante pernos de 19 mm.
- Espaciamiento entre rodillos 750 mm aproximado.
- Accionamiento de rodillos mediante ruedas de cadena de 12 dientes, y cadena No.50, dos por rodillo.
- Ruedas de cadena soldadas de manera frontal a placa terminal de un lado de cada rodillo.
- Propulsión mediante moto reductora de 0,5HP sinfín-corona, ortogonal, con salida de 60 RPM, trifásica, 220V 60Hz.
- Arranque directo mediante variador electrónico de frecuencia con control térmico, para la potencia requerida.

- Velocidad de transporte variable entre 2 y 10 m/min mediante variador electrónico de frecuencia.
- Sin guías laterales, ni ruedas.
- Soportes para sensores.

### 3.5.2.3. Dimensionamiento del transportador de rodillos

Para dimensionar el transportador de rodillos se toma en consideración los requerimientos del diseño por lo cual la estructura de soporte tiene las siguientes medidas 12000 mm x 1424 mm como se muestra en la Figura No. 3.3, y 525 mm desde el piso esta altura será regulable.



**Figura No. 3.3: Esquema general de la estructura del transportador**

### 3.5.2.4. Selección de los materiales para la parte estructural

A continuación se realiza la selección de los materiales existente en el mercado nacional para la estructura tomando en cuenta las necesidades requeridas para una carga máxima de diseño de 1000 Kg, por lo cual primero calculamos la carga máxima de transporte que es el peso de una lámina de 1100 mm x 10000 mm con un espesor de 0,5 mm.

Tabla No. 3.9:

## Peso aproximado chapa acanalada galvanizada

CARACTERISTICAS DE CHAPAS ACANALADAS GALVANIZADAS							
Espesor mm	Ancho total mm	Ancho útil mm	Paso mm	Cresta mm	Sección A cm	Peso propio g kg/m	PESO APROX. kg/m <sup>2</sup>
0,40	1.086	1.026	76	18	5,03	3,93	4,05
0,50	1.086	1.026	76	18	6,14	4,79	4,89

Fuente: ( Giliberto Hnos. S.A, 2014)

Con los datos de la Tabla No. 3.9 podemos calcular el peso aproximado total de la lámina de mayor longitud que se produce en la empresa con la Ecuación 3.1.

$$P_{T\text{aprox}} = P_{\text{aprox}} \times (L \times A)$$

(Ecuación 3.1)

Dónde:

$P_{T\text{aprox}}$  = Peso total aproximado de la lámina

$P_{\text{aprox}}$  = Peso por metro cuadrado

L = Longitud

A= Ancho

$$P_{T\text{aprox}} = 4,896 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2} \cdot (10\text{m} \cdot 1,086\text{m})$$

$$P_{T\text{aprox}} = 53,17\text{Kg}$$

Luego calculamos con la Ecuación 3.2 la diferencia de carga  $D_C$  entre la carga máxima de diseño  $C_{D\text{max}}=1000 \text{ Kg}$  y la carga máxima a transportar  $P_{T\text{aprox}}=53,13 \text{ Kg}$ .

$$D_C = C_{D\text{max}} - P_{T\text{aprox}}$$

(Ecuación 3.2)

$$D_C = 1000 \text{ Kg} - 53,13 \text{ Kg}$$

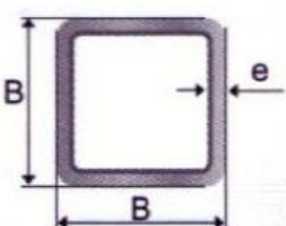
$$D_C = 946,87 \text{ Kg}$$

Observamos que la diferencia de carga  $D_C$  es grande por lo que tenemos un margen alto para poder agregar cargas adicionales como son los pesos del cabezal Porta-

pistolas y su estructura, el cilindro neumático, las pistolas automáticas, el sistema de precalentamiento (opcional) y los rodillos transportadores con su sistema de transmisión, que más adelante son verificados para ver si cumplen con la condición de carga máxima de diseño.

Para los perfiles base se ha decidido utilizar tubo estructural cuadrado de acero A500 Gr.A de 50 mm x 50 mm con un espesor de 3.0 mm (ver Figura No. 3.4).

Tubo Estructural Cuadrado			
Largo Normal:	6 m		
Recubrimiento:	Negro o Galvanizado		
Norma de Fabricación:	ASTM A 500 Gr.A, B ó C NTE INEN 2415		
Norma de Galvanizado:	ASTM A 123		
Espesores:	Desde 1.50 a 6.00 mm		
Observaciones:	Otras dimensiones y largos previa consulta		



Dimensiones		Área	Peso
B	H	A	P
mm	mm	cm <sup>2</sup>	kg/m
20	1.50	1.05	0.83
	2.00	1.34	1.05
25	1.50	1.35	1.06
	2.00	1.74	1.36
30	1.50	1.65	1.30
	2.00	2.14	1.68
	3.00	3.01	2.36
40	1.50	2.25	1.77
	2.00	2.94	2.31
	3.00	4.21	3.30
50	1.50	2.85	2.24
	2.00	3.74	2.93
	3.00	5.41	4.25
60	1.50	3.45	2.71
	2.00	4.54	3.56

**Figura No. 3.4: Tubo estructural cuadrado de acero A500 Gr.A**

Fuente: (PROVIACEROS Cia. Ltda., 2013)

La estructura tiene 14 apoyos totales, 2 por cada sección, por consideraciones de diseño nos imaginamos el peor de los escenarios y decimos que la carga axial crítica va a estar sobre una sola sección, entonces mediante la Ecuación 3.3 el peso sobre cada una será igual a:

$$C_A = \frac{C_{Dmax}}{2}$$

(Ecuación 3.3)

Dónde:

$C_A$  = Carga en apoyo

$C_{Dmax}$  = Carga de diseño máxima

$$C_A = \frac{1000 \text{ Kg}}{2} = 500 \text{ Kg} = 4900 \text{ N}$$

El perfil está sometido a compresión como se muestra en la Figura No.3.5.



**Figura No. 3.5: Diagrama de cargas sobre el perfil**

El esfuerzo de compresión se calcula con la Ecuación 3.4 de la siguiente forma:

$$\sigma_c = \frac{C_A}{A}$$

(Ecuación 3.4)

Dónde:

$\sigma_c$  = Esfuerzo de compresión

$C_A$  = Carga en apoyo

$A$  = Área transversal del perfil

Por lo que necesitamos saber el área transversal  $A$  de un tubo de 50x50x3 mm que según la Figura No. 3.4 es 5,41 cm<sup>2</sup> y reemplazamos los datos en la Ecuación 3.4.



$$\sigma_c = \frac{4900 \text{ N}}{5,41 \text{ cm}^2} = 905,75 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$$

Calculamos el factor de seguridad FS con la Ecuación 3.5 como se indica a continuación:

$$FS = \frac{S_y}{\sigma_c}$$

(Ecuación 3.5)

Dónde:

FS= Factor de seguridad

S<sub>y</sub>= Esfuerzo de fluencia

σ<sub>c</sub>= Esfuerzo de compresión

El esfuerzo de fluencia S<sub>y</sub> para el acero estructural es de 24500 N/cm<sup>2</sup>, reemplazamos en la Ecuación 3.5 y obtenemos:

$$FS = \frac{24500 \text{ N/cm}^2}{905,75 \text{ N/cm}^2} = 27,05$$

Los soportes verticales también están sometidos a pandeo, por lo cual se calcula la carga crítica con la Ecuación 3.6 de la siguiente manera:

$$C_{Cr} = \pi^2 \times \frac{E \times I_{min}}{(\alpha \times L)^2}$$

(Ecuación 3.6)

Dónde:

C<sub>Cr</sub>= Carga crítica

E= Módulo de Young del material

I<sub>min</sub>= Momento de inercia mínimo

α×L= Longitud de pandeo

Cuando las condiciones de sujeción de los extremos son diferentes el coeficiente α puede ser:

$$\alpha \begin{cases} =0,50 \text{ empotrado-empotrado} \\ \approx 0,70 \text{ articulado-empotrado} \\ =2 \text{ libre-empotrado} \end{cases}$$

$$E = 2,1 \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2$$

$$I_{min} = 1,33 \text{ cm}^4$$

$$L = 52,5 \text{ cm}$$

Obtenidos las características del material procedemos a reemplazar en la Ecuación 3.6 y obtenemos:

$$C_{cr} = \pi^2 \times \frac{2,1 \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2 \times 1,33 \text{ cm}^4}{(0,5 \times 52,5 \text{ cm})^2}$$

$$C_{cr} = 40004,8 \text{ Kg}$$

$C_A < C_{cr}$ : Como la carga aplicada a la columna es menos que la carga crítica, el diseño es seguro.

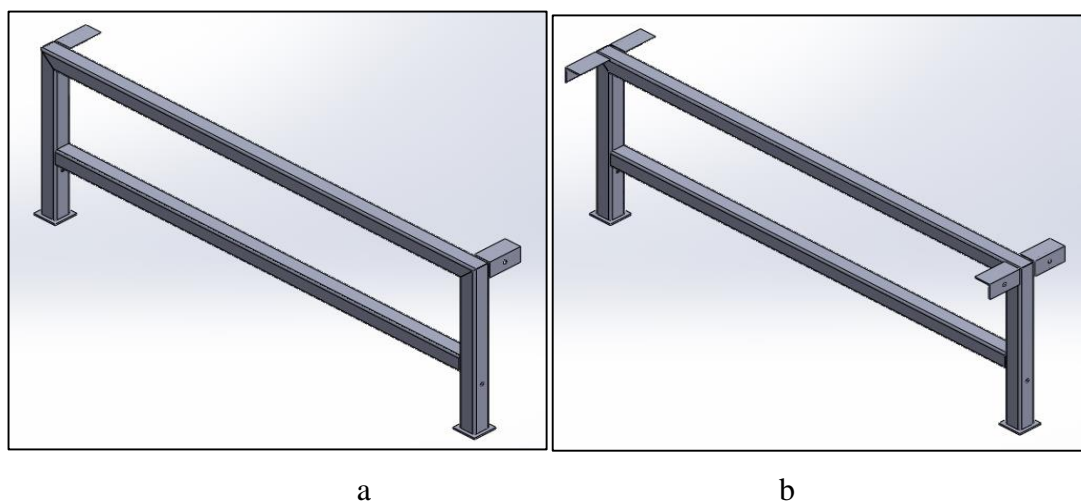
Para los conectores se ha seleccionado un ángulo L de acero laminado en caliente NTEINEN 2215 de 50 mm x 50 mm con un espesor de 3.0 mm (ver Figura No. 3.6) que van soldados a la estructura base como se observa en la Figura No. 3.7.

Dimensiones y especificaciones técnicas				
DIMENSIÓN		MASA NOMINAL		TOLERANCIAS
mm	kg/m	kg/6m	Ala mm	Espesor mm
20X3	0,871	5,226	+ -1	+ - 0.50
25X3	1,107	6,642		
25X4	1,444	8,664		
25X6	2,072	12,432		
30X3	1,342	8,052		
30X4	1,758	10,548		
30X6	2,543	15,258		
40X3	1,813	10,878		
40X4	2,386	14,316		
40X6	3,485	20,910		
50X3	2,284	13,704		
50X4	3,014	18,084		

**Figura No. 3.6: Angulo estructural L de acero NTEINEN 2215**

*Fuente: (PROVIACEROS Cia. Ltda., 2013)*

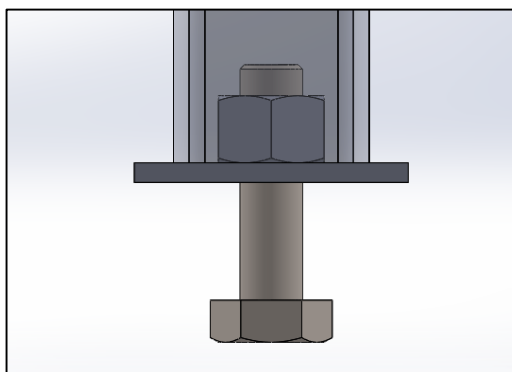
Con el material seleccionado y el análisis respectivo, se procede a diseñar en software CAD, en nuestro caso se utiliza SolidWorks Premium 2014, los perfiles base en total 7 que se utilizan para formar la estructura del transportador, los cuales 2 de ellos tienen la forma como se observa en la Figura No. 3.7 a. y los otros 5 restantes la forma de la Figura No. 3.7 b. con medidas de 1412 mm x 525 mm, sus partes van unidas con cordón de soldadura de acuerdo a la norma AWS.



**Figura No. 3.7: Perfiles base**

- ***Apoyos de la Estructura***

Los apoyos diseñados sirven para la fácil regulación de altura mediante rosca para que la estructura pueda acoplarse a la superficie de asiento y así eliminar algún tipo de imperfección en el piso (ver Figura No. 3.8).



**Figura No. 3.8: Apoyos regulables de la estructura**

Para la selección del tamaño adecuado del perno es indispensable determinar la carga total que debe soportar el apoyo, pero para cálculos consideramos la carga de apoyo  $C_A = 500 \text{ Kg.}$  máxima.

Es necesario analizar los esfuerzos en la rosca para determinar el diámetro de rosca adecuado, usando la Ecuación 3.7:

$$\sigma_P = \frac{C_A}{A_{tp}}$$

(Ecuación 3.7)

Dónde:

$\sigma_P$  = Esfuerzo de tensión en la rosca del perno

$C_A$  = Carga en apoyo

$A_{tp}$  = Área de esfuerzo de tensión de la rosca del perno

$$\sigma_P = \frac{500 \text{ Kg}}{157 \text{ mm}^2} = 3,185 \text{ MPa}$$

Seleccionamos un perno M16 paso 2mm como se indica en la Figura No.3.9, y verificamos si resiste la carga.

DIAMETRO NOMINAL d (mm)	SERIE DE PASO BASTO (MC)			SERIE DE PASO FINO (MF)			ALTURA DE LA TUERCA H (mm)
	PASO P (mm)	AREA DE ESFUERZO DE TRACION $A_T$ (mm <sup>2</sup> )	AREA DE RAIZ $A_T$ (mm <sup>2</sup> )	PASO P (mm)	AREA DE ESFUERZO DE TRACION $A_T$ (mm <sup>2</sup> )	AREA DE RAIZ $A_T$ (mm <sup>2</sup> )	
4	0.70	8.78	7.75				3.0
5	0.80	14.2	12.7				4.0
6	1.00	20.1	17.9				5.0
8	1.25	36.6	32.8	1.00	39.2	36.0	6.5
10	1.50	58.8	52.3	1.25	61.2	56.3	8.0
12	1.75	84.3	76.3	1.25	92.1	86.0	10.0
14	2.00	115.0	104.0	1.50	125.0	116.0	11.0
16	2.00	157.0	144.0	1.50	167.0	157.0	13.0
20	2.50	245.0	225.0	1.50	272.0	259.0	16.0
24	3.00	353.0	324.0	2.00	384.0	365.0	19.0

**Figura No. 3.9: Características de pernos milimétricos**

*Fuente: (ULA, 2010, pág. 59)*

Según datos de la Figura No. 3.10 la resistencia de prueba para un perno M16 paso 2mm de grado 4.6 es 225 MPa, por lo tanto el perno de apoyo de la estructura es seguro para resistir la carga.

DIN: Deutsches Institut für Normung			
NUMERO DE GRADO	MATERIAL	CARGA DE PRUEBA (MPA)	ESFUERZO DE RUPTURA (MPA)
4.6	Acero de bajo carbono ó acero al carbono	225	400
4.8	Acero de bajo carbono ó acero al carbono	310	420
5.8	Acero de bajo carbono ó acero al carbono	380	520
8.8	Acero al carbono, templado y revenido	600	830
9.8	Acero al carbono, templado y revenido	650	900
10.9	Acero de bajo carbono martensítico, templado y revenido	830	1040

**Figura No. 3.10: Carga de prueba de pernos milimétricos**

*Fuente: (La Casa del Perno, s.f.)*

Entonces se selecciona en total 14 pernos normalizados M12 paso 2 mm y de longitud 60 mm y tuercas M16 las cuales van soldadas a una placa de 70x70 mm y espesor 5 mm como se observa en la Figura No. 3.8 para formar los apoyos regulables de la estructura, más detalles constructivos en el plano número ETR-01-02 del Anexo A.

- ***Soportes de rodillos***

Para la parte estructural de soporte de los rodillos transportadores se ha seleccionado ángulos L de acero laminado en caliente NTEINEN 2215 de 50 mm x 50 mm con un espesor de 3.0 mm (ver Figura No. Figura No. 3.12).

Los ángulos L tienen una longitud estándar de 6000 mm por lo que se utiliza 2 por cada lado de soporte en total son 4 necesarios para armar la estructura y van unidos mediante pernos a los perfiles bases, las distancias de perforaciones son especificadas en el plano número ETR-03 del Anexo A.

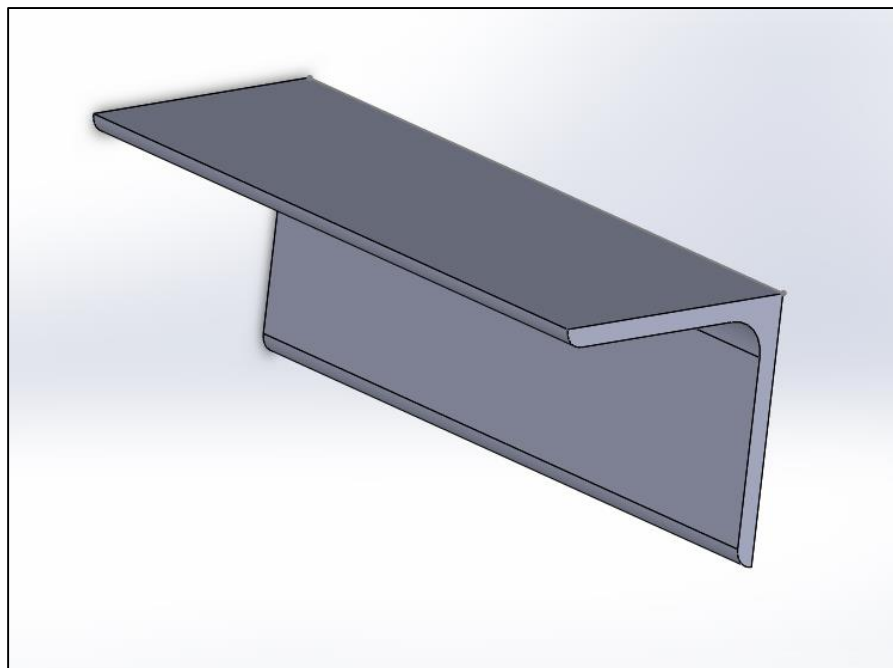
Dimensiones y especificaciones técnicas				
DIMENSIÓN		MASA NOMINAL		TOLERANCIAS
mm	kg/m	kg/6m	Ala mm	Espesor mm
20X3	0,871	5,226	+ -1	+ - 0.50
25X3	1,107	6,642		
25X4	1,444	8,664		
25X6	2,072	12,432		
30X3	1,342	8,052		
30X4	1,758	10,548		
30X6	2,543	15,258		
40X3	1,813	10,878		
40X4	2,386	14,316		
40X6	3,485	20,910		
50X3	2,284	13,704		
50X4	3,014	18,084		
50X6	4,427	26,562		

Tolerancia de longitud: + - 50 mm

PROPIEDADES MECÁNICAS		kgf/cm <sup>2</sup>
Límite de fluencia mínimo		2400
Resistencia a la tracción mínima		3400
Resistencia a la tracción mínima		4800
ALARGAMIENTO (%) MÍNIMO CON PROBETA Lo = 5.65 *(Ao) 1/2mm		26%

**Figura No. 3.11: Angulo estructural L de acero NTEINEN 2215**

*Fuente: (PROVIACEROS Cia. Ltda., 2013)*

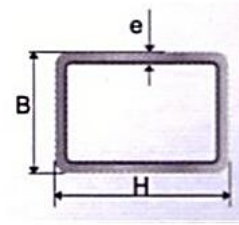


**Figura No. 3.12: Angulo Estructural L**

- **Soportes de laterales**

Para los soportes laterales de conexión entre perfiles bases se utiliza un tubo estructural rectangular de acero A500 Gr.A de 50 mm x 30 mm con un espesor de 1.5 mm (ver Figura No. 3.13).

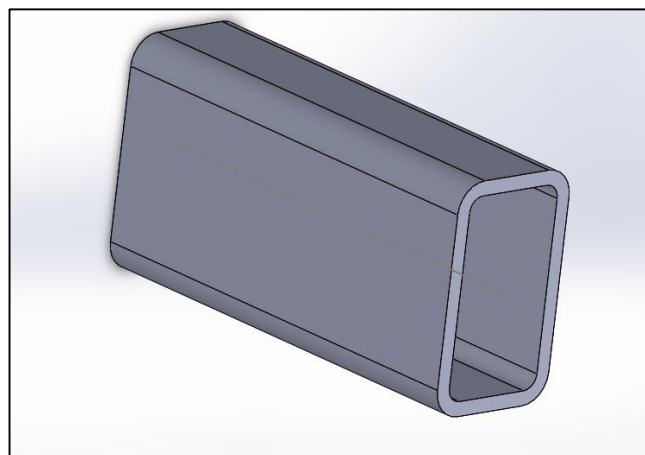
Tubo Estructural Rectangular				
Largo Normal:	6 m			
Recubrimiento:	Negro o Galvanizado			
Norma de Fabricación:	ASTM A 500 Gr.A, B ó C NTE INEN 2415			
Norma de Galvanizado:	ASTM A 123			
Espesores:	Desde 1.50 a 6.00 mm			
Observaciones:	Otras dimensiones y largos previa consulta			



Dimensiones		Espesor	Área	Peso
B	H	e	A	P
mm	mm	mm	cm <sup>2</sup>	kg/m
20	40	1.50	1.65	1.30
		2.00	2.14	1.68
25	50	1.50	2.10	1.65
		2.00	2.74	2.15
		3.00	3.91	3.07
30	50	1.50	2.25	1.77
		2.00	2.94	2.31
		3.00	4.21	3.30

**Figura No. 3.13: Tubo estructural rectangular de acero A500 Gr.A**

*Fuente: (PROVIACEROS Cia. Ltda., 2013)*



**Figura No. 3.14: Tubo estructural rectangular**

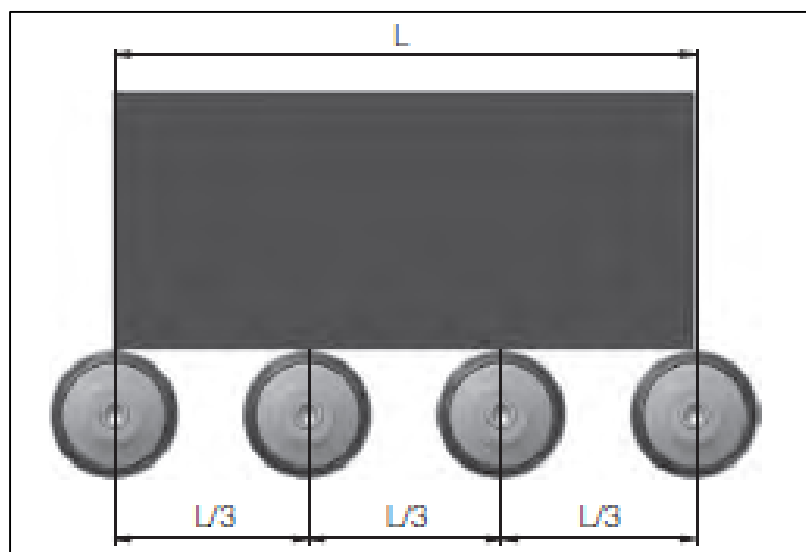
Estos tubos son colocados a los lados laterales de los perfiles base dándoles estabilidad y el espaciamiento requerido para formar la estructura total de 12000 mm por lo cual se utiliza 2 tubos de 6000 mm estándar ver Figura No. 3.14, por cada lado unidos por pernos para lo cual se realizan las respectivas perforaciones a lo largo del tubo como se indica en el plano constructivo número ETR-04 en el Anexo A.

### 3.5.2.5. Diseño de los rodillos transportadores

#### 3.5.2.5.1. Determinar el número de rodillos transportadores

El número de rodillos transportadores requeridos resulta de la longitud total del trayecto de transporte, dividido por el paso entre rodillos + 1. El paso entre rodillos es la distancia entre dos rodillos transportadores.

El paso entre rodillos queda determinado por la longitud y el tipo de los materiales a transportar, y por la capacidad de carga de los rodillos transportadores; básicamente siempre deben encontrarse al menos tres rodillos transportadores debajo de la carga a transportar para garantizar un transporte fiable. Por este motivo la distancia entre rodillos debe ser, como máximo, de un tercio de la longitud de la carga a transportar más corta.



**Figura No. 3.15: Distancia entre rodillos**

*Fuente: (Interroll, 2011)*



Para el cálculo se utiliza la longitud mínima de una lámina a transportar que es de 1,8 m, entonces tenemos que la distancia mínima entre rodillos es:

$$D_{ER} = \frac{L}{3} = \frac{1,8 \text{ m}}{3} = 0,6 \text{ m} = 600 \text{ mm}$$

Como la carga que se va a transportar es larga y no tiene una altura pronunciada esta no puede sufrir volcamientos, por lo que podemos trabajar con la distancia entre rodillos de 750 mm, la cual es como requerimiento de diseño.

Entonces el número total de rodillos requeridos para cubrir la longitud total del transportador de 12 m, es:

$$N_R = \frac{12000 \text{ mm}}{750 \text{ mm}} + 1$$

$$N_R = \frac{12000 \text{ mm}}{750 \text{ mm}} + 1 = 17$$

Pero nuestro diseño requiere una distancia libre tanto de entrada como de salida por lo cual el número total de rodillos a utilizar son:

$$N_{TR} = 16$$

### 3.5.2.5.2. Determinación de la Velocidad Lineal

La velocidad lineal está dada por requerimiento de diseño la cual nos dice que tiene que ser variable entre 2m/min y 10 m/min.

Entonces para cálculos de diseño las velocidades mínima  $V_{\min}$  y máxima  $V_{\max}$  de transporte son:

$$V_{\min} = 2 \frac{\text{m}}{\text{min}} = 0,033 \frac{\text{m}}{\text{seg}} = 33,3 \frac{\text{mm}}{\text{seg}}$$

$$V_{\max} = 10 \frac{\text{m}}{\text{min}} = 0,167 \frac{\text{m}}{\text{seg}} = 166,7 \frac{\text{mm}}{\text{seg}}$$

### 3.5.2.5.3. Determinación de la Velocidad Angular

La fabricación de los rodillos transportadores según requerimiento de diseño nos dice que es en tubo estructural redondo de 2 ½" (63,5 mm).

Para la determinación de la velocidad angular se parte de la velocidad lineal  $V_{Tmax}$  y el diámetro del rodillo utilizando la siguiente Ecuación 3.8:

$$\omega = \frac{V_{max}}{r}$$

(Ecuación 3.8)

Dónde:

$\omega$ = Velocidad angular.

$V_{max}$ = Velocidad lineal máxima de transporte.

$r$ = Radio del rodillo.

Reemplazamos los datos en la Ecuación 3.8 y obtenemos el valor de la velocidad angular.

$$\omega = \frac{166,7 \text{ mm/seg}}{31,75 \text{ mm}}$$

$$\omega = 5,25 \frac{\text{rad}}{\text{seg}}$$

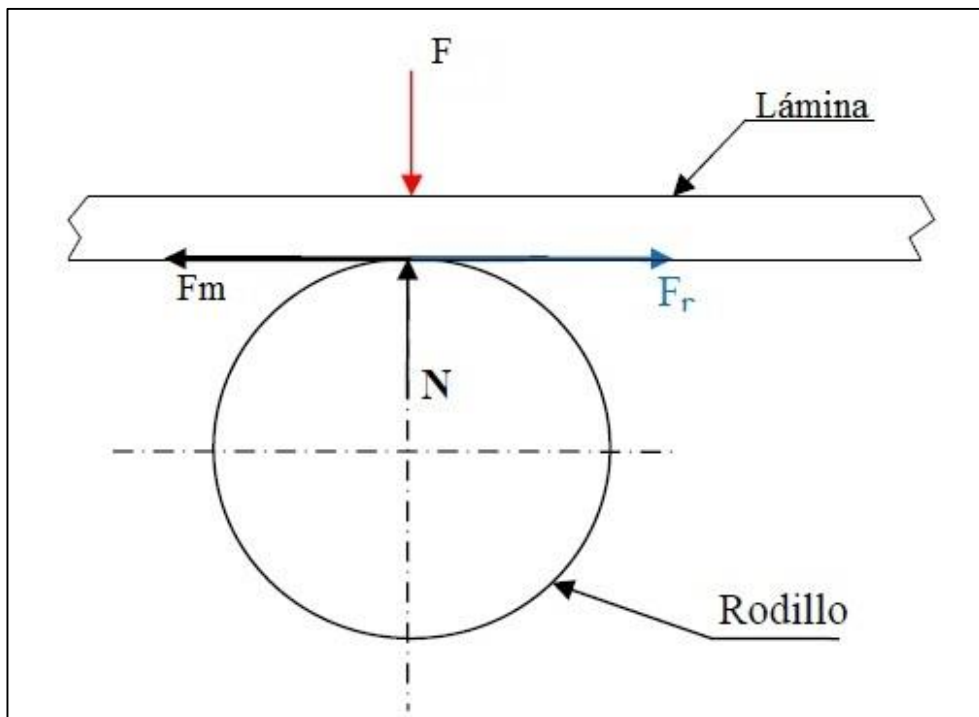
Realizando la conversión de la anterior expresión obtenida, a revoluciones por minutos, se tiene:

$$n = 5,25 \frac{\text{rad}}{\text{seg}} \times \frac{1 \text{ rev}}{2 \pi \text{ rad}} \times \frac{60 \text{ seg}}{1 \text{ min}}$$

$$n = 50,14 \text{ RPM}$$

De esta forma tenemos que la velocidad angular requerida es de 50,14 RPM que será tomada en cuenta más adelante para la selección del reductor de velocidad para el motor.

### 3.5.2.5.4. Cálculo de la fuerza que soporta el eje de un rodillo



**Figura No. 3.16: Diagrama del cuerpo libre del rodillo**

La carga  $F$  que va a soportar un rodillo es la de un tercio del peso de la menor lámina de 1800 mm de largo.

$$W_{\text{Lamina1,8x1,1}} = 4,896 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2} \times (1,8\text{m} \times 1,1\text{m})$$

$$W_{\text{Lamina1,8x1,1}} = 9,694 \text{ Kg}$$

$$F = \frac{W_{\text{Lamina1,8x1,1}}}{3} = \frac{9,694 \text{ Kg}}{3}$$

$$F = 3,23 \text{ Kg} = 31,67 \text{ N}$$

### 3.5.2.5.5. Determinar la capacidad de carga máxima del rodillo

La capacidad de carga de los rodillos transportadores depende de la capacidad de carga del tubo, el eje y los rodamientos como grupos constructivos del rodillo.

La capacidad de carga del grupo constructivo más débil en cada caso determinará la capacidad de carga del rodillo transportador completo. Para determinar la capacidad de carga del rodillo transportador se comparan los diferentes grupos constructivos respecto a su capacidad de carga y se calculan de forma combinada.

La capacidad de carga del rodillo transportador se ve influenciada de forma decisiva por la longitud, la distribución de la carga y la fijación del eje.

La capacidad de carga de rodillos transportadores accionados a menudo está restringida por otros límites de capacidad de carga, por ejemplo: la solicitud admisible de la cadena de accionamiento y de otros elementos de accionamiento, o por el par del motor de accionamiento.



**Figura No. 3.17: Medidas de longitud de los rodillos transportadores**

*Fuente: (Interroll, 2011)*

Nuestro rodillo tiene las siguientes dimensiones según los requerimientos de diseño como se indica en la Figura 3.17.

AGL=1420 mm

EL= 1200 mm

La capacidad de carga máxima de un tubo depende de dos condiciones:

- La tensión de flexión del tubo debe ser inferior al valor límite de material admisible.
- La flexión máxima del tubo no debe sobrepasar el 0,1 % de la longitud de montaje.

La tensión de flexión y la flexión pueden calcularse con las siguientes fórmulas:

Tensión de flexión $\sigma = M_b/W = F \cdot EL/(8 \cdot W)$	
Flexión $f_1 = 5 \cdot F \cdot EL^3/(384 \cdot E \cdot I)$	
$M_b$	Momento de flexión
$W$	Módulo de resistencia
$F$	Carga
$EL$	Longitud de montaje
$E$	Módulo de elasticidad
$I$	Momento de inercia

**Figura No. 3.18: Formulas tensión de flexión y la flexión de un rodillo**

*Fuente: (Interroll, 2011)*

La capacidad de carga de un eje depende de dos condiciones:

- La tensión de flexión del eje debe ser inferior al valor límite de material admisible
- La flexión del eje debe ser inferior al valor límite admisible.

Vamos a utilizar datos de la tabla de un fabricante para poder comprobar si nuestro rodillo diseñado se aproxima a esos valores.

La capacidad de carga depende de la versión de eje, del diámetro del tubo y de la longitud del rodillo.

Material del tubo	Versión de eje	Rodamiento de bolas	Ø de tubo mm	Ø de eje mm	Capacidad de carga máx. en N										
					con longitud de montaje en mm										
					200	300	400	600	800	1000	1300	1600			
PVC	Eje de muelle	6002 2FZ	50 x 2,8	8-10	660	280	150	65	36	-	-	-	-	-	-
Acero	Eje de muelle	689 2Z	30 x 1,2	8	150	150	150	150	-	-	-	-	-	-	-
			6002 2FZ	40 x 1,5	10-12	800	800	800	800	730	490	330	-	-	-
		50 x 1,5		10	1800	1140	840	560	420	340	260	220	-	-	-
				12	2000	2000	1800	1200	920	760	620	520	-	-	-
		60 x 1,5		11 hex.	2000	2000	1640	1020	780	640	520	440	-	-	-
			12	1630	1130	830	540	400	320	250	200	-	-	-	
	Rosca interior	6002 2FZ	40 x 1,5	12	2000	2000	1740	1160	870	700	580	460	-	-	
				11 hex.	2000	2000	1500	1000	740	600	475	390	-	-	
				12	800	800	800	800	800	560	330	-	-	-	
			50 x 1,5	12	2000	2000	2000	2000	1770	1120	660	440	-	-	
				14	2000	2000	2000	2000	1770	1120	660	440	-	-	
				17	3000	3000	3000	3000	1770	1120	660	440	-	-	
60 x 1,5	12	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	1160	760	-	-			
6003 2FZ	60 x 3,0	17	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	2140	1400	-	-		
Eje cónico	6002 2FZ	50 x 1,5	11-12 hex.	350	350	350	350	350	350	-	-	-	-		

**Figura No. 3.19: Capacidad de carga máxima del rodillo**

*Fuente: (Interroll, 2011)*

De la Figura No. 3.19 observamos que la carga máxima para un rodillo similar al diseñado es de 1160 N.

- **Análisis de carga:**

Características del rodillo:

Ø de tubo= 63,5 mm

Espesor= 1,5 mm

Ø del eje= 12 mm

Longitud de montaje EL= 1200 mm

Longitud total de eje AGL= 1420 mm

Con las formulas de la Figura No. 3.18, calculamos mediante la Ecuación 3.9 y Ecuación 3.10 la tensión de flexión y la flexión respectivamente del rodillo diseñado:

$$\sigma = \frac{F \times EL}{8 \times W}$$

(Ecuación 3.9)

El módulo de resistencia  $W$ , módulo de resistencia  $E$  y el momento de inercia  $I$  se obtienen por medio de la tabla de características técnicas de un tubo de  $2\frac{1}{2}$ " (63,5 mm), espesor 1,5 mm, entonces procedemos a calcular la tensión de flexión reemplazando en la Ecuación 3.9:

$$\sigma = \frac{31,67 \text{ N} \times 120 \text{ cm}}{8 \times 5,11 \text{ cm}^3}$$

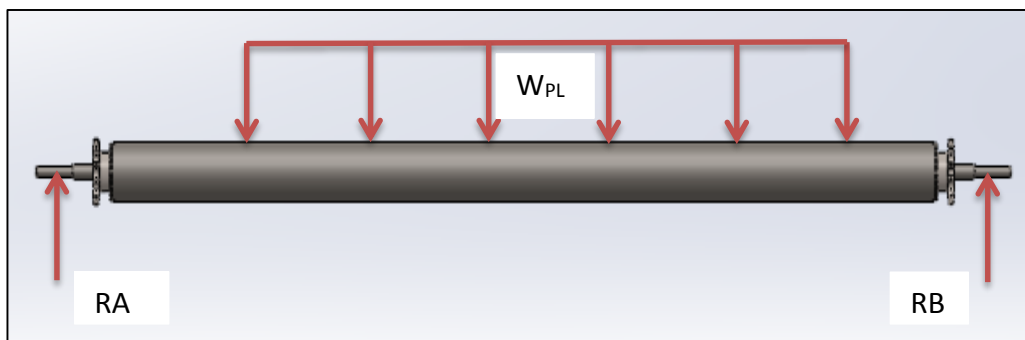
$$\sigma = 92,97 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2} = 1 \text{ MPa}$$

Luego reemplazamos en la Ecuación 3.10 los datos obtenidos y calculamos la flexión:

$$f_t = \frac{5 \times F \times EL^3}{384 \times E \times I}$$

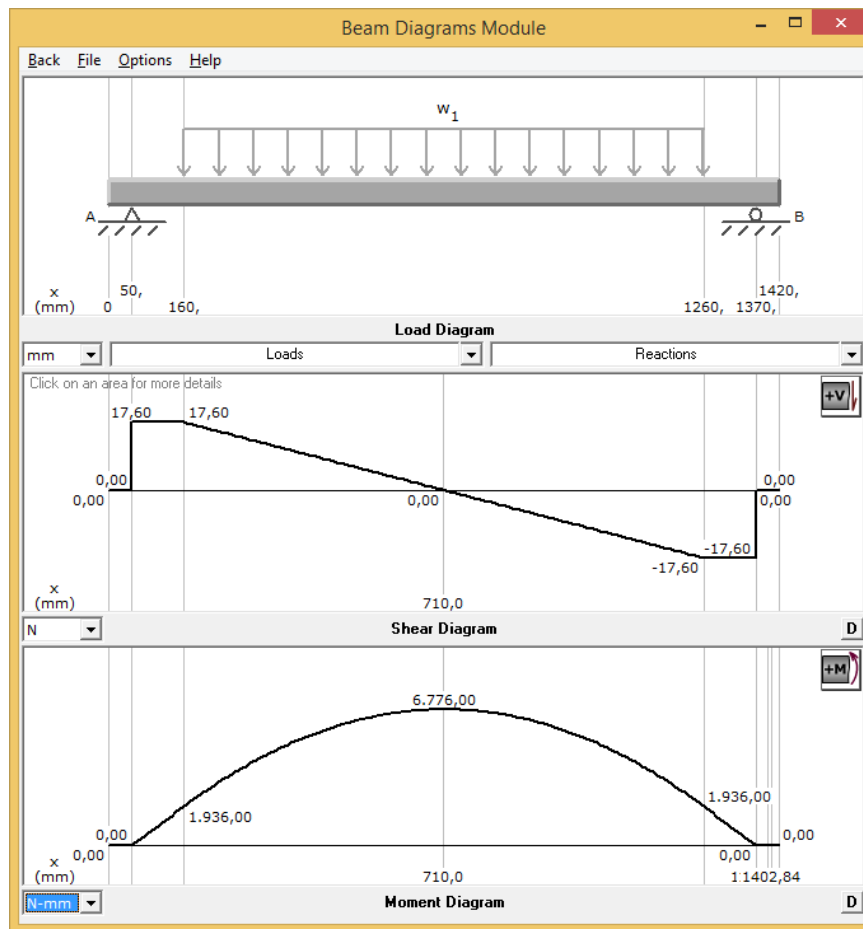
(Ecuación 3.10)

$$f_t = \frac{5 \times 31,67 \text{ N} \times (120 \text{ cm})^3}{384 \times 673 \text{ cm}^3 \times 15,3 \text{ cm}^4} = 87,98 \text{ N/cm}^4$$



**Figura No. 3.20: Diagrama de fuerzas en el Rodillo**

Los apoyos del eje del rodillo son los puntos críticos a donde se transmite toda la carga por lo que podemos hacer el siguiente análisis con la ayuda del software MDSolids para obtener los valores máximos de la fuerza cortante y el momento flector producidos en el eje del rodillo, la distancia total del eje es 1420 mm y la distancia a los apoyos A y B son de 50 mm.



**Figura No. 3.21: Graficas de fuerza cortante y momento flector del rodillo**

Obtenemos como resultado que la fuerza cortante máxima es de 17,60 N y el momento flector máximo es de 6776 N-mm.

El mayor esfuerzo que sufre el rodillo es debido a flexión y por tanto tenemos mediante la Ecuación 3.11:

$$\sigma_{Fsf} = \frac{M_{sf}}{S_{sf}}$$

(Ecuación 3.11)

Dónde:

$\sigma_{Fsf}$ =Esfuerzo por flexión del eje del rodillo.

$M_{sf}$ =Momento de flexión máximo en el eje del rodillo.

$S_{sf}$ =Modulo de sección del eje del rodillo.



Para el cálculo del módulo de sección de una barra redonda utilizamos la siguiente Ecuación 3.12:

$$S_{sf} = \pi \times \frac{R^3}{2}$$

(Ecuación 3.12)

$$S_{sf} = \pi \times \frac{6^3}{2} = 339,292 \text{ mm}^3$$

Entonces reemplazando el valor obtenido en la Ecuación 3.12 en la Ecuación 3.11:

$$\sigma_{Fsf} = \frac{6776 \text{ N} \cdot \text{mm}}{339,292 \text{ mm}^3} = 19,971 \text{ MPa}$$

El factor de seguridad se obtiene con referencia al límite elástico del acero ASTM36 ( $\sigma_E = 250 \text{ MPa}$ ), por tanto:

$$FS = \frac{\sigma_E}{\sigma_{Fsf}} = \frac{250}{19,971} = 12,52$$

- **Simulación:**

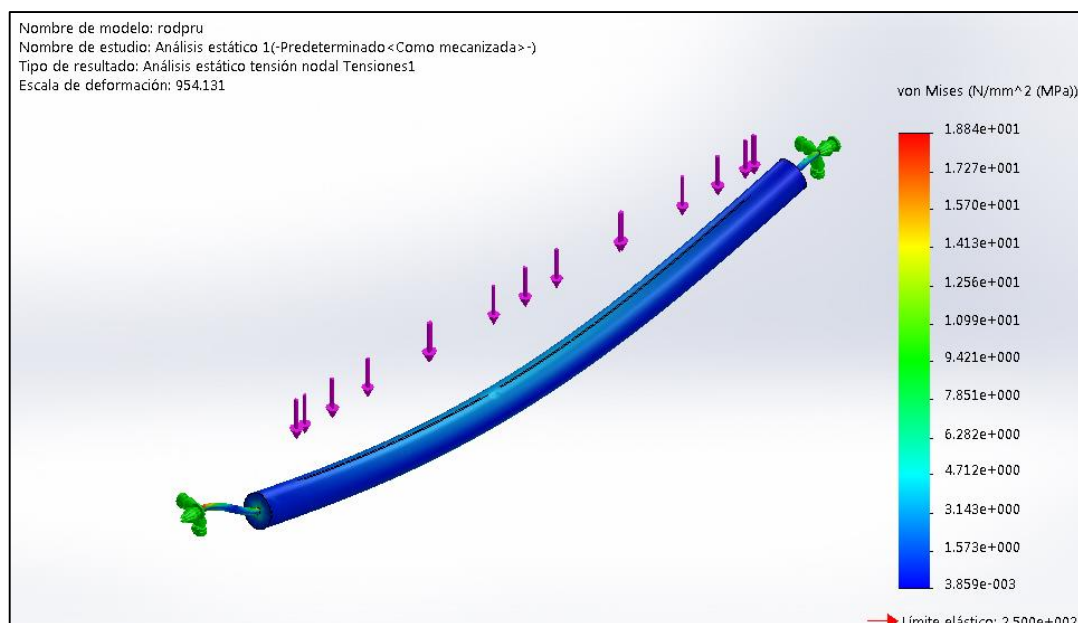
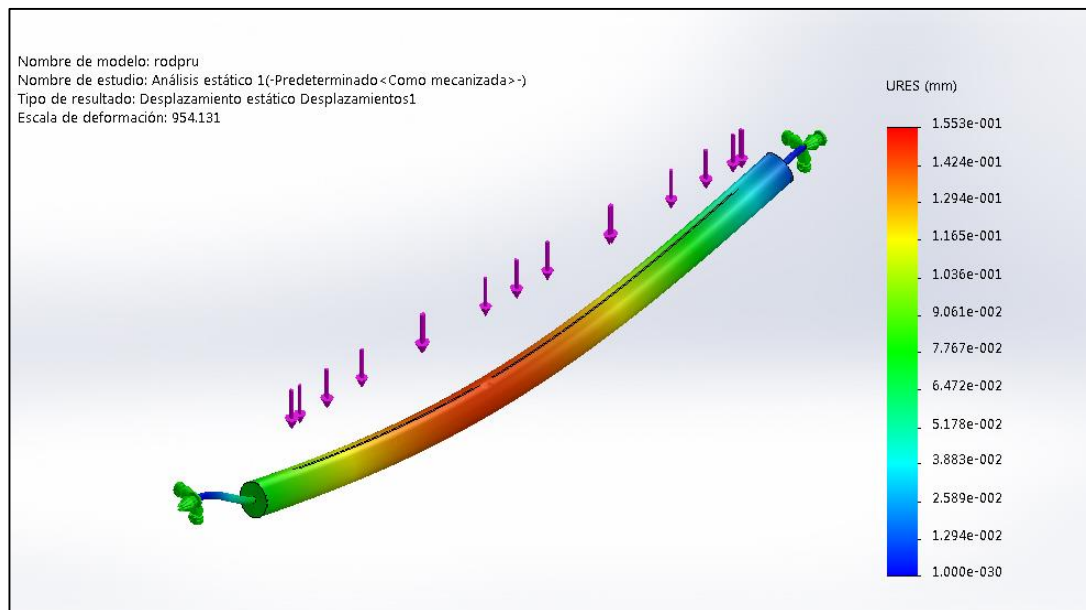
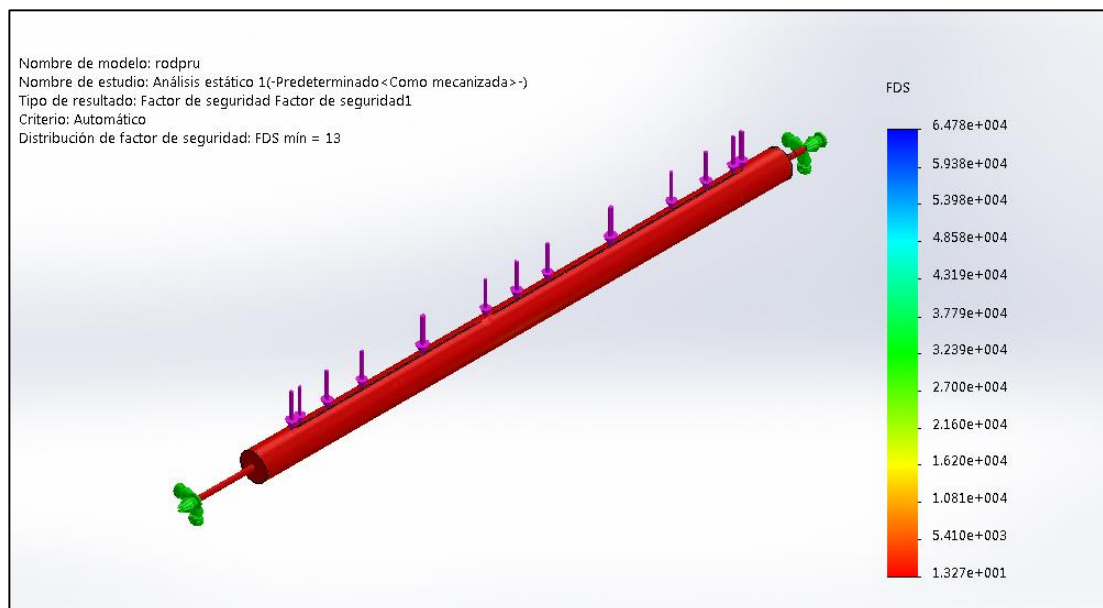


Figura No. 3.22: Simulación del límite elástico del Rodillo



**Figura No. 3.23: Simulación del desplazamiento del Rodillo**

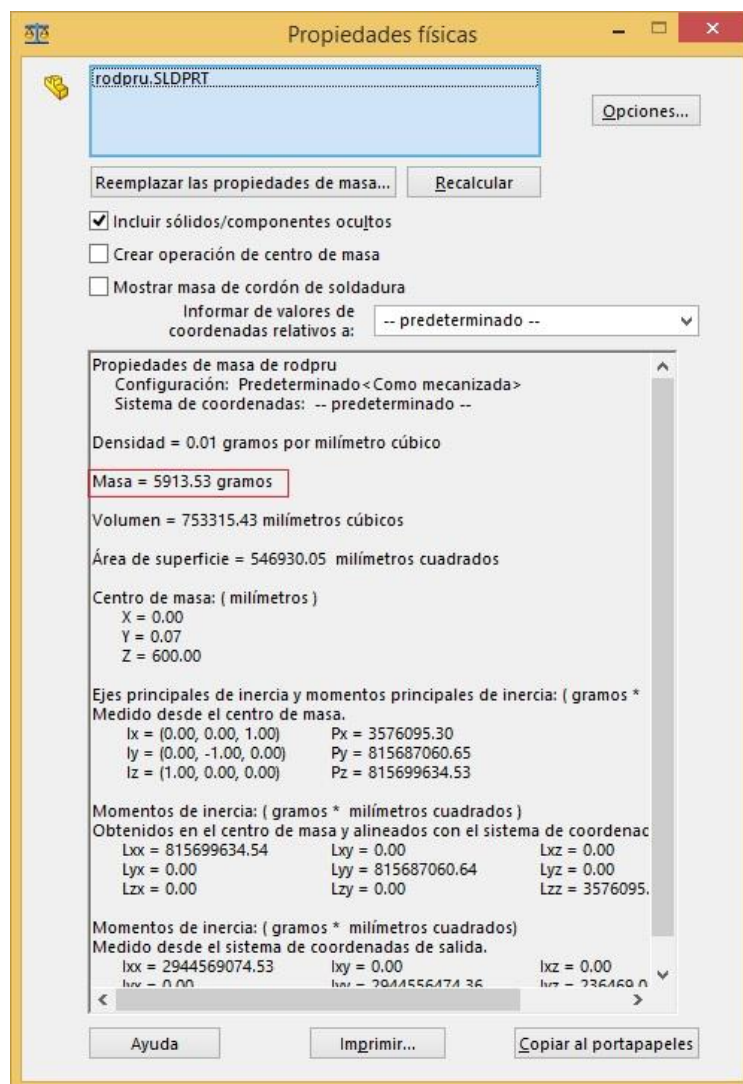


**Figura No. 3.24: Simulación del FS del Eje de la Pistola**

De la simulación CAD con base a los parámetros especificados, el factor de seguridad más bajo encontrado en el diseño es 13, como se puede observar en la Figura No. 3.21.

- **Pesos de los rodillos.**

Utilizamos la herramienta de SolidWorks para calcular el peso aproximado del rodillo como se observa en la Figura 3.25 el peso aproximado del rodillo mencionado es igual a 6 Kg.



**Figura No. 3.25: Propiedades físicas del rodillo**

*Fuente: (SolidWorks, 2014)*

Ahora calculamos el peso total de los 16 rodillos que conforman el transportador.

$$W_{TR} = 16 \times 6Kg = 96Kg$$

### 3.5.2.5.6. Selección de las chumaceras de soporte para los rodillos

Una chumacera es un soporte con rodamiento orientable que está formado por un rodamiento a bolas de una hilera con una junta de retén, estanca a ambos lados y por los diferentes tipos de soporte; el anillo externo del rodamiento a bolas está rectificando en forma esférica al igual que el alojamiento del soporte para conseguir así un óptimo montaje que permita el auto-alineamiento.

Se ha escogido en total 32 chumaceras 2 por cada rodillo de acuerdo al diámetro del eje el cual es de 12 mm y para una carga crítica según datos técnicos de la norma de fabricación para chumaceras, la serie que corresponde a nuestra selección es la **UCP-201**, las características podemos observar en la Figura No. 3.26 y en el Anexo B.

### 3.5.2.5.7. Fuerza de un rodillo para mover parte de una lamina

En la Figura No. 3.16 se muestra el diagrama libre del rodillo y de la lámina, para el cálculo de la fuerza necesaria para mover parte de una lámina.

$$\begin{aligned}\sum F_y &= 0 \\ N - F &= 0 \\ N = F &= 31,67 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum F_x &= 0 \\ F_m - F_r &= 0 \\ F_m &= F_r \\ F_m &= \mu \times N\end{aligned}$$

El coeficiente de rozamiento es  $\mu=0,74$  entre el rodillo y la lámina en la zona de contacto entonces:

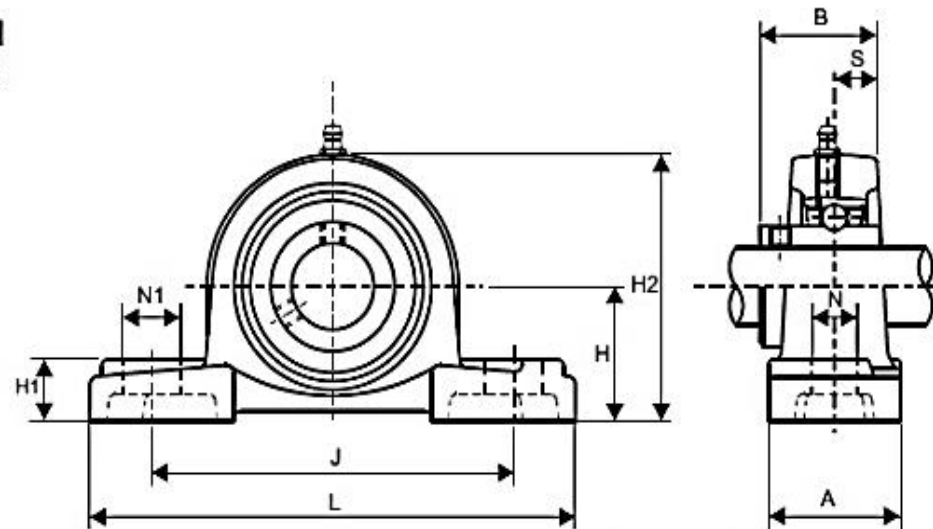
$$F_m = 0,74 \times 31,67 \text{ N} = 23,44 \text{ N}$$

# Serie STANDARD

# ASAHI

SOPORTE DE FUNDICION  
RODAMIENTO DE ACERO

## Tipo UCP 200



Ø eje mm.	Referencia	Dimensiones mm.										Tornillo mm	Rodamiento Ref.	Soporte Ref.	Peso Kg.
		H	L	J	A	N	N1	H1	H2	B	S				
12	UCP 201	30.2	127	95	38	13	19	15	62	31	12.7	M10	UC 201	P 203	0.65
15	UCP 202	30.2	127	95	38	13	19	15	62	31	12.7	M10	UC 202	P 203	0.63
17	UCP 203	30.2	127	95	38	13	19	15	62	31	12.7	M10	UC 203	P 203	0.62

Figura No. 3.26: Características de las chumaceras seleccionadas

Fuente: (Jocar Transmisiones, 2013)

### 3.5.2.5.8. Cálculo de la potencia requerida para mover una lámina

La potencia que se necesita para mover una lámina que descansa sobre 3 rodillos es de entrada calculada mediante la Ecuación 3.13:

$$H = 3 \times F_m \times V_{Tmax}$$

(Ecuación 3.13)

$$H = 3 \times 23,44 \text{ N} \times 0,167 \frac{\text{m}}{\text{seg}}$$

$$H = 11,74 \text{ W}$$

Transformamos la potencia a unidades HP:

$$H = \frac{11,74 \text{ W}}{746} = 0,0157 \text{ HP}$$

### 3.5.2.6.8. Cálculo de la capacidad máxima de transporte

Para calcular la capacidad máxima de transporte del transportador de rodillos diseñado utilizamos la siguiente Ecuación 3.14:

$$C_{Tmax} = \frac{N_{Pmax} \times 3600 \times V_{Tmax}}{L}$$

(Ecuación 3.14)

Dónde:

$C_{Tmax}$  = Capacidad de transporte máximo

$N_{Pmax}$  = Número de piezas máximas en la trayectoria

$L$  = Longitud de la trayectoria

$V_{Tmax}$  = Velocidad de transporte

El número de láminas cortas de longitud 1,8 m máximas en la trayectoria es 5 por lo reemplazando en la Ecuación 3.14 tenemos:

$$C_{Tmax} = \frac{5 \times 3600 \times 0,167}{12} \cong 250 \text{ [laminas cortas/h]}$$

El número de láminas largas de longitud 10 m máximas en la trayectoria es 1 por lo que:

$$C_{Tmax} = \frac{1 \times 3600 \times 0,167}{12} \cong 50 \text{ [laminas largas/h]}$$

- **Peso total de láminas sobre el transportador.**

Entonces el peso total de las láminas sobre el transportador es:

$$W_{TL} = 5 \times W_{Lamina1,8x1,1}$$

$$W_{TL} = 5 \times 9,694 \text{ Kg} = 48,47 \text{ Kg}$$

### 3.5.2.6. Cálculo estimado de la potencia del motor

El cálculo de la potencia total del motor está determinado por 2 factores:

- Velocidad máxima de transporte
- Peso total a mover.

En el peso total a mover se consideran los siguientes pesos involucrados:

- $W_{TL}$ = Peso total de las láminas sobre el transportador.
- $W_{TC}$ = Peso total de las cadenas de transmisión.
- $W_{TR}$ = Peso total de los rodillos.
- $W_{TP}$ = Peso de los piñones.

Por el momento no tenemos el valor de todos los pesos mencionados por lo cual para un cálculo aproximado de la potencia del motor utilizamos el valor de capacidad de carga máxima de un rodillo estándar especificado en la Figura No. 3.19 igual a 1160 N, con lo cual garantizamos que la posterior corrección de potencia sea inferior, utilizamos la Ecuación 3.15 para calcular la potencia estimada.

$$P_{EM} = C_{Cmax} \times V_{Tmax} \times Fs$$

(Ecuación 3.15)

Dónde:

$P_{EM}$ = Potencia estimada

$C_{Cmax}$ = Capacidad de carga máxima de un rodillo

$V_{Tmax}$ = Velocidad de transmisión máxima

$F_s$ = Factor de servicio

$$P_{EM} = 1160 N \times 0,167 \frac{m}{seg} \times 1,8$$

$$P_{EM} = 348,70 W = 0,47 HP$$

Entonces trabajamos con una potencia de 0,5 HP estándar en un motor para los cálculos de la transmisión por cadena y más adelante se realiza la verificación y corrección de potencia si es necesario.

### 3.5.2.7. Diseño de la transmisión por cadena

Para el cálculo del tipo de cadena a utilizar nos ayudaremos de un software de la empresa RENOLD, para garantizar un óptimo funcionamiento de la transmisión por cadena.

#### 3.5.2.7.1. Potencia de entrada.

La potencia de entrada se determina con la siguiente relación de la Ecuación 3.16 teniendo en cuenta las pérdidas por transmisión de cadena y la respectiva potencia estimada del motor de la sección anterior.

$$P_{Entrada} = \frac{P_{EM} \times (0,746)}{\eta_{Cadena}}$$

(Ecuación 3.16)

Dónde:

$P_{Entrada}$ = Potencia de entrada a la transmisión

$P_{EM}$  = Potencia estimada del motor

$\eta_{Cadena}$ = Pérdidas por transmisión de la cadena

$$P_{Entrada} = \frac{0,50 HP \times (0,746)}{0,96} = 0,389 KW$$



### 3.5.2.7.2. Velocidad de entrada

La velocidad de entrada al piñón de la transmisión por cadena será la misma velocidad máxima de diseño de 60RPM, por consiguiente:

$$V_{Entrada} = V_{MD} = 60 \text{ RPM}$$

### 3.5.2.7.3. Selección del número de dientes del piñón y rueda.

Teniendo en cuenta que la relación de transmisión por cadena es dada por la Ecuación 3.17:

$$m_c = \frac{RPM_E}{RPM_{S_{mr}}}$$

(Ecuación 3.17)

Dónde:

$m_c$  = Relación de transmisión

$RPM_E$  = Velocidad de entrada al piñón

$RPM_{S_{mr}}$  = Velocidad de salida del moto reductor

$$m_c = \frac{60 \text{ RPM}}{60 \text{ RPM}} = 1$$

Se selecciona un número de dientes adecuados que cumpla la siguiente relación de la Ecuación 3.18:

$$m_c = \frac{Z_2}{Z_1} = 1$$

(Ecuación 3.18)

Dónde:

$m_c$  = Relación de transmisión

$Z_1$  = números de dientes del piñón

$Z_2$  = números de dientes de la rueda

Según la norma DIN 8196 los siguientes números de dientes para el piñón son preferidos: 11,13,15, 17,19,21,23,25,38,57,76,95,114.

Se recomienda que el número de dientes del piñón sea impar ya que así se logra que los dientes del piñón, engranen con distintos eslabones de la cadena, por consiguiente se distribuye mejor el desgaste, pero al no existir en el mercado un piñón de 11 u 13 dientes se elige un intermedio.

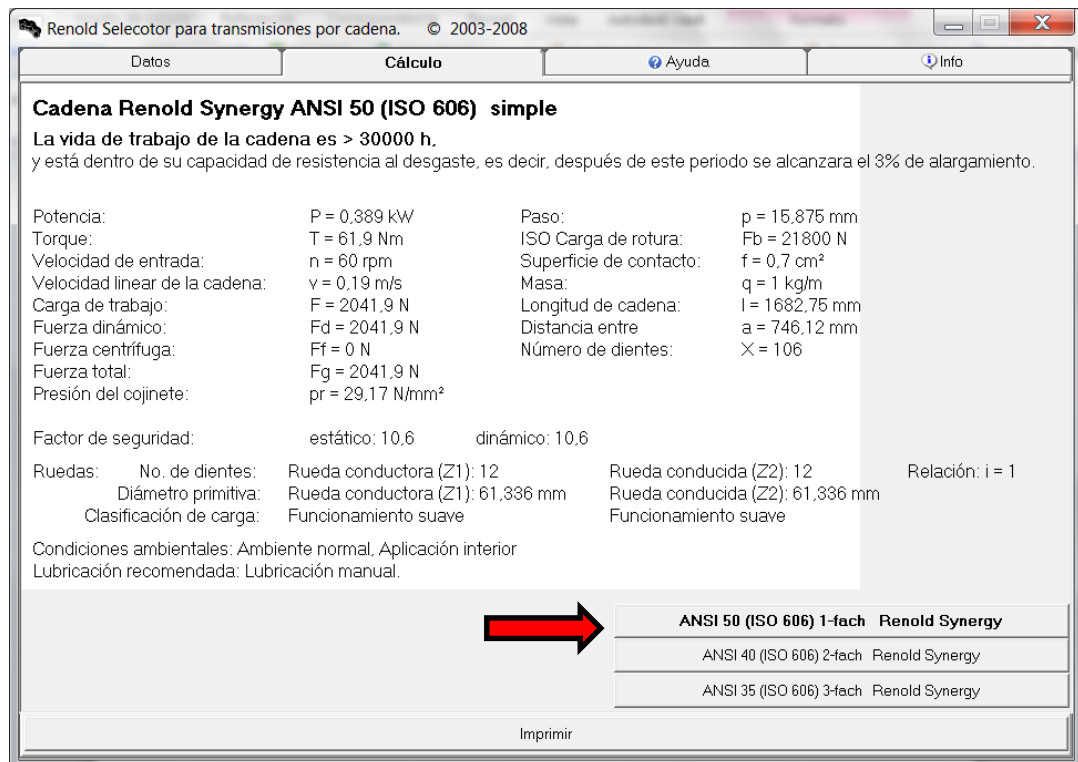
Para efectos de cálculos seleccionamos un piñón y rueda  $Z_1=Z_2$  igual a 12 dientes, luego son verificados si cumplen con la norma en las tablas de selección de la American Chain Association (ACA).

Se considera la distancia entre centros para este cálculo la estipulada en las condiciones de diseño 750 mm, más adelante si esta no se ajusta a la recomendada por el fabricante será recalculada.

Con estos datos establecidos podemos ingresarlos al programa de RENOLD, ver Figura No. 3.27, que nos calcula la mejor opción para la selección de la cadena.

**Figura No. 3.27: Datos de entrada al Software RENOLD**

*Fuente: (RENOLD, 2008)*



**Figura No. 3.28: Resultados obtenidos del Software RENOLD**

*Fuente: (RENOLD, 2008)*

#### 3.5.2.7.4. Selección de la cadena

El programa muestra tres referencias de cadenas, ver Figura No.3.28, se decide utilizar la cadena **ANSI 50 (ISO 606) simple**.

PASO	Pulg (mm)	$\frac{3}{8}$ 9,525	$\frac{1}{2}$ 12,70	$\frac{5}{8}$ 15,875	$\frac{3}{4}$ 19,05	1 25,40	$1\frac{1}{4}$ 31,75
DISTANCIA ENTRE CENTROS	(mm)	450	600	750	900	1000	1200
PASO	Pulg (mm)	$1\frac{1}{2}$ 38,10	$1\frac{3}{4}$ 44,45	2 50,80	$2\frac{1}{2}$ 63,50	3 76,20	
DISTANCIA ENTRE CENTROS	(mm)	1350	1500	1700	1800	2000	

**Figura No. 3.29: Distancia entre centros**

*Fuente: (RENOLD, 2008)*

Por consiguiente no es necesario recalcular la distancia entre centros ya que según la denominación el paso correspondiente a la cadena ANSI 50 es 5/8 de pulgada= 15,875 mm, y según lo recomendado podemos verificar por medio de la Figura No. 3.29 que cumple la condición de distancia entre centros.

- **Numero de pasos  $C_p$ :**

El número de pasos se calcula de acuerdo a la siguiente Ecuación 3.19, este valor debe estar en el rango de  $30 \leq C_p \leq 50$  pasos.

$$C_p = \frac{a}{P}$$

(Ecuación 3.19)

Dónde:

a= Distancia entre centros

P= Paso de la cadena

$$C_p = \frac{746,12 \text{ mm}}{15,875 \text{ mm}} = 47$$

Por consiguiente este valor está en el rango indicado anteriormente.

- **Velocidad lineal de la cadena:**

De los resultados obtenidos en el software se tiene que:

$$V_{lineal} = 0,174 \text{ m/s} < 10\text{m/s}$$

Por consiguiente el diseño está en un rango óptimo de funcionamiento.

- **Longitud de la cadena:**

La longitud de la cadena se calcula de la siguiente manera con la Ecuación 3.20:

$$L_m = \frac{L_p \times P}{1000}$$

(Ecuación 3.20)

Dónde:

$L_m$ = Longitud de la cadena en metros

$L_p$ = Longitud de la cadena en pasos

$P$ = Paso de la cadena

La longitud de la cadena en pasos o número de eslabones de la cadena se calcula con la siguiente Ecuación 3.21:

$$L_p = \frac{S}{2} + 2C_p + \frac{K}{C_p}$$

(Ecuación 3.21)

Dónde:

$L_p$ = Número de eslabones de la cadena

$S$ = Número total de dientes de los piñones

$C_p$ = Número de pasos

$K$ = Coeficiente de diferencia de dientes de los piñones

El número total de dientes de los piñones se obtiene sumando los del piñón conductor y piñón conducido:

$$S = N_{P1} + N_{P2} = 12 + 12 = 24$$

La diferencia de dientes  $D$  entre los piñones conductor y conducido para la selección del coeficiente  $K$  es:

$$D = N_{P1} - N_{P1} = 12 - 12 = 0$$

Entonces  $K = 0$

Reemplazando en la Ecuación 3.21 los datos obtenidos anteriormente tenemos que la cantidad de eslabones de la cadena es:

$$L_p = \frac{24}{2} + 2 \times 47 + 0 = 106$$

Luego se calcula la longitud de la cadena en metros reemplazando en la Ecuación 3.20, los datos obtenidos anteriormente:

$$L_m = \frac{106 \times 15,875 \text{ mm}}{1000} = 1,68275 \text{ m} = 1682,75 \text{ mm}$$

Son 16 tramos de transmisión por lo que se necesita una distancia total de cadena igual a:

$$L_T = 16 \times 1,68275 \text{ m} = 26,924 \text{ m} = 26924 \text{ mm}$$

Una caja de cadena contiene 3 m, en total se necesitan:

$$\text{No. Cajas} = \frac{26,924 \text{ m}}{3 \text{ m}} \cong 9 \text{ cajas}$$

- **Peso de la cadena**

De la Figura No. 3.28 obtenemos la masa  $q$  de un tramo de cadena, entonces el peso total de las cadenas de todos los tramos es:

$$W_{TC} = L_T \times q = 26,924 \text{ m} \times 1 \frac{\text{Kg}}{\text{m}} = 26,924 \text{ Kg}$$

### 3.5.2.7.5. Selección de Piñones

De acuerdo con la información proporcionada por el software tenemos que el piñón a utilizar será un **ANSI 50-paso 5/8" con 12 dientes para acople en eje de 16 mm** como se muestra de la hoja de selección de la Figura No. 3.30.

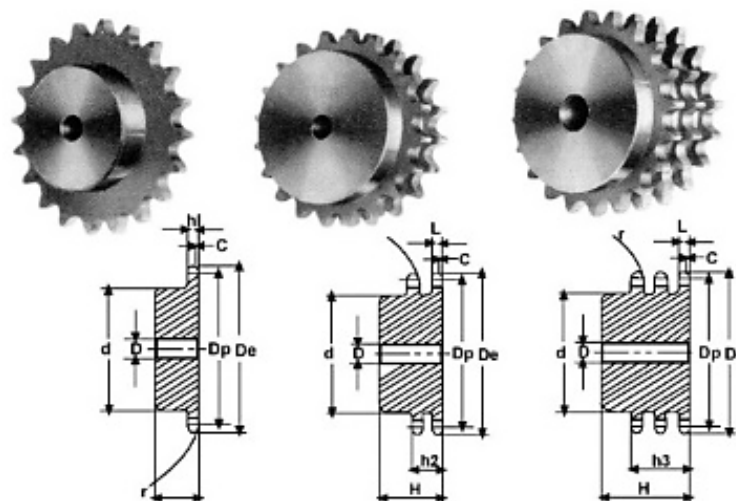
Verificamos si este piñón cumple la norma de la American Chain Association (ACA), interpolando 60 RPM de diseño entre 50 RPM y 100 RPM de la tabla, para un piñón ASA 50 de 12 dientes observamos en la Figura No. 3.31 que cumple con el valor de transmisión de potencia máxima de 0,5 HP para cadenas ASA 50 en relación de número de dientes del piñón y la velocidad de entrada (RPM).

Piñones para cadena simple, doble y triple de rodillos según las normas: DIN 8188 - ISO/R 606 - ANSI B 29,1

**5/8" x 3/8" ASA 50 - 1-2-3 15,875 x 9,52 mm**

<b>CADENA:</b>	<b>ASA 50</b>
Paso	15,875
Ancho interno	9,52
Rodillo $\varnothing$	10,16

<b>PIÑONES</b>	<b>ASA 50</b>	
Radio diente r	r	17
Ancho radio C	C	2
Ancho diente $h_1$	$h_1$	9
Ancho diente L	L	8,8
Ancho diente $h_2$	$h_2$	26,9
Ancho diente $h_3$	$h_3$	45
Altura total H	H	-



Z	De	Dp	PS			PD			PT		
			d	D	H	d	D	H	d	D	H
8	47,0	41,48	25	10	25						
9	52,6	46,42	30	10	25						
10	57,5	51,37	35	10	25						
11	63,0	56,34	37	12	30						
12	68,0	61,34	42	12	30				44	16	55
13	73,0	66,32	47	12	30	49	14	40	49	16	55

Figura No. 3.30: Características de los piñones seleccionados

Fuente: (MEGA CHAIN, 2010, pág. 20)

**50 HORSEPOWER RATINGS -- SINGLE STRAND ROLLER CHAIN NO. 50 -- 2001**

No. of Teeth	0.625 inch Pitch																								
	10	25	50	100	140	200	300	500	700	900	1200	1500	1800	2100	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000	6500	7000	7500
11	0.11	0.27	0.52	1.00	1.39	1.95	2.88	4.70	6.50	8.27	10.24	7.33	5.58	4.42	3.41	2.59	2.05	1.68	1.41	1.20	1.04	0.92	0.81	0.73	0.00
12	0.12	0.29	0.56	1.09	1.51	2.13	3.14	5.13	7.09	9.02	11.67	8.35	6.35	5.04	3.88	2.95	2.34	1.92	1.61	1.37	1.19	1.04	0.93	0.00	
13	0.13	0.31	0.61	1.19	1.64	2.31	3.40	5.56	7.68	9.77	12.88	9.42	7.16	5.69	4.38	3.33	2.64	2.16	1.81	1.55	1.34	1.18	0.00		
14	0.14	0.34	0.66	1.28	1.76	2.48	3.67	5.99	8.27	10.53	13.87	10.52	8.01	6.35	4.89	3.72	2.95	2.42	2.03	1.73	1.50	0.28	0.00		
15	0.15	0.36	0.70	1.37	1.89	2.66	3.93	6.41	8.86	11.28	14.86	11.67	8.88	7.05	5.42	4.13	3.27	2.68	2.25	1.92	1.66	0.00			
16	0.16	0.39	0.75	1.46	2.02	2.84	4.19	6.84	9.45	12.03	15.85	12.86	9.78	7.76	5.98	4.55	3.61	2.95	2.47	2.11	0.00				
17	0.17	0.41	0.80	1.55	2.14	3.02	4.45	7.27	10.04	12.78	16.85	14.08	10.71	8.50	6.55	4.98	3.95	3.23	2.71	2.31	0.00				
18	0.18	0.43	0.84	1.64	2.27	3.19	4.71	7.70	10.63	13.53	17.84	15.34	11.67	9.26	7.13	5.42	4.30	3.52	2.95	0.05	0.00				
19	0.19	0.46	0.89	1.73	2.39	3.37	4.98	8.12	11.22	14.28	18.83	16.64	12.66	10.05	7.73	5.88	4.67	3.82	3.20	0.00					
20	0.20	0.48	0.94	1.82	2.52	3.55	5.24	8.55	11.81	15.04	19.82	17.97	13.67	10.85	8.35	6.35	5.04	4.13	3.46	0.00					
21	0.21	0.51	0.98	1.92	2.65	3.73	5.50	8.98	12.40	15.79	20.81	19.34	14.71	11.67	8.99	6.84	5.42	4.44	0.00						
22	0.22	0.53	1.03	2.01	2.77	3.90	5.76	9.41	12.99	16.54	21.80	20.73	15.77	12.52	9.64	7.33	5.82	4.76	0.00						
23	0.23	0.55	1.08	2.10	2.90	4.08	6.02	9.83	13.58	17.29	22.79	22.16	16.86	13.38	10.30	7.84	6.22	5.09	0.00						
24	0.24	0.58	1.13	2.19	3.02	4.26	6.28	10.26	14.18	18.04	23.78	23.62	17.97	14.26	10.98	8.35	6.63	1.36	0.00						
25	0.25	0.60	1.17	2.28	3.15	4.44	6.55	10.69	14.77	18.79	24.77	25.11	19.11	15.16	11.67	8.88	7.05	0.00							
26	0.26	0.63	1.22	2.37	3.28	4.61	6.81	11.12	15.36	19.55	25.76	26.64	20.26	16.08	12.38	9.42	7.47	0.00							
28	0.28	0.67	1.31	2.55	3.53	4.97	7.33	11.97	16.54	21.05	27.75	29.77	22.65	17.97	13.84	10.52	4.74	0.00							
30	0.30	0.72	1.41	2.74	3.78	5.32	7.86	12.83	17.72	22.55	29.73	33.01	25.11	19.93	15.34	11.67	0.00								
32	0.32	0.77	1.50	2.92	4.03	5.68	8.38	13.68	18.90	24.06	31.71	36.37	27.67	21.96	16.90	12.86	0.00								
35	0.35	0.84	1.64	3.19	4.41	6.21	9.16	14.97	20.67	26.31	34.68	41.60	31.65	25.11	19.34	0.94	0.00								
40	0.40	0.96	1.88	3.65	5.04	7.10	10.47	17.10	23.63	30.07	39.64	49.11	38.67	30.68	23.62	0.00									
45	0.45	1.08	2.11	4.10	5.67	7.98	11.78	19.24	26.58	33.83	44.59	55.24	46.14	36.61	8.64										

Type A
Type B
Type C

Type A: Manual or Drip Lubrication  
 Type B: Bath or Disc Lubrication  
 Type C: Oil Stream Lubrication

**Figura No. 3.31: Rangos de transmisión de potencia (HP)**

*Fuente: (The American Chain Association, 2001)*



De acuerdo al diseño se necesitan 2 piñones por rodillo y uno para el eje del motor por lo que en total se requiere 33 piñones de las características mencionadas.

- **Peso de los piñones**

De las características técnicas de los piñones normalizados ASA-50 tenemos que el peso estándar de un piñón es de 0,35 Kg, por lo cual el peso total de los 33 piñones es igual a:

$$W_{TP} = 33 \times W_p = 33 \times 0,35Kg = 11,55 Kg$$

### 3.5.2.8. Verificación de la potencia y selección del motor y reductor

En la sección anterior se utilizó una estimación de la potencia para los cálculos de la transmisión, ahora ya con todos los datos podemos verificar si la potencia del motor cumple con lo requerido.

$$W_T = W_{TL} + W_{TC} + W_{TR} + W_{TP}$$

$$W_T = 48,47 Kg + 26,924 Kg + 96 Kg + 11,55 Kg$$

$$W_T = 182,944 Kg = 1794,68 N$$

Bajo condiciones normales de trabajo el procedimiento para el cálculo de la potencia es:

$$HP = W_T \times V_{Tmax} \times F_s$$

(Ecuación 3.22)

Dónde:

HP= Potencia del motor

W<sub>T</sub>= Capacidad de carga máxima de un rodillo

V<sub>Tmax</sub>= Velocidad de transmisión máxima

F<sub>s</sub>= Factor de servicio

$$HP = 1794,68 N \times 0,167 \frac{m}{seg} \times 1,2$$

$$HP = 359,65 W = 0,48 HP$$

El motor seleccionado se puede observar en la Figura No.3.32 y sus especificaciones técnicas se muestran en la Tabla No. 3.10.



**Figura No. 3.32: Motor de AC seleccionado**

**Tabla No. 3.10:**

**Especificaciones técnicas del motor AC**

<b>MOTOR AC</b>	
<b>Marca</b>	LAFERT
<b>Modelo</b>	AM 71Z BA4
<b>Voltaje</b>	3~ 220 VAC
<b>Salida</b>	0,37 KW
<b>Velocidad</b>	2800 rpm
<b>Corriente</b>	2,1 A

*Fuente: (Ficha técnica motor Lafert)*

- **Relación de reducción**

La relación de reducción está dada por la siguiente Ecuación 3.23:

$$i = \frac{\text{RPM motor}}{\text{RPM reductor}}$$

*(Ecuación 3.23)*

$$i = \frac{2800 \text{ rpm}}{60 \text{ rpm}} = 46,67$$

En el mercado se pudo encontrar un reductor de 1:40 este es el que se acerca más al resultado obtenido además se optó por un motor con un variador de frecuencia para regular la velocidad porque eso es uno de los requerimientos de diseño, los cálculos están hecho para la máxima velocidad.

El reductor de velocidad del motor de AC seleccionado se observa en la Figura No. 3.33 y sus especificaciones técnicas se muestran en la Tabla No. 3.11.



**Figura No. 3.33: Reductor del motor de AC**

**Tabla No. 3.11:**

**Especificaciones técnicas del reductor**

<b>REDUCTOR</b>	
<b>Marca</b>	MOTIVE
<b>Modelo</b>	BOX050
<b>Relación</b>	1:40
<b>Torque</b>	30 Nm

*Fuente: (Ficha técnica reductor Motive)*

- *Selección del variador de frecuencia*

El variador de frecuencia del motor de AC y sus especificaciones técnicas se muestra a continuación, ver Figura No. 3.34 y Tabla No. 3.12.



**Figura No. 3.34: Variador de frecuencia del motor AC**

**Tabla No. 3.12:**

**Especificaciones técnicas del variador de frecuencia**

<b>CONTROLADOR DEL MOTOR AC</b>	
<b>Marca</b>	MICNO
<b>Modelo</b>	KE300 0R4G-S2
<b>Voltaje de entrada</b>	1AC 220~240V $\pm 15\%$
<b>Corriente de entrada</b>	5.4 A
<b>Voltaje de salida</b>	0~rated input voltage
<b>Corriente de salida</b>	0~rated input current
<b>Frecuencia de entrada</b>	47~63Hz

*Fuente: (Ficha técnica del variador de frecuencia Micno)*

### 3.5.2.8.1. Diseño del eje de transmisión

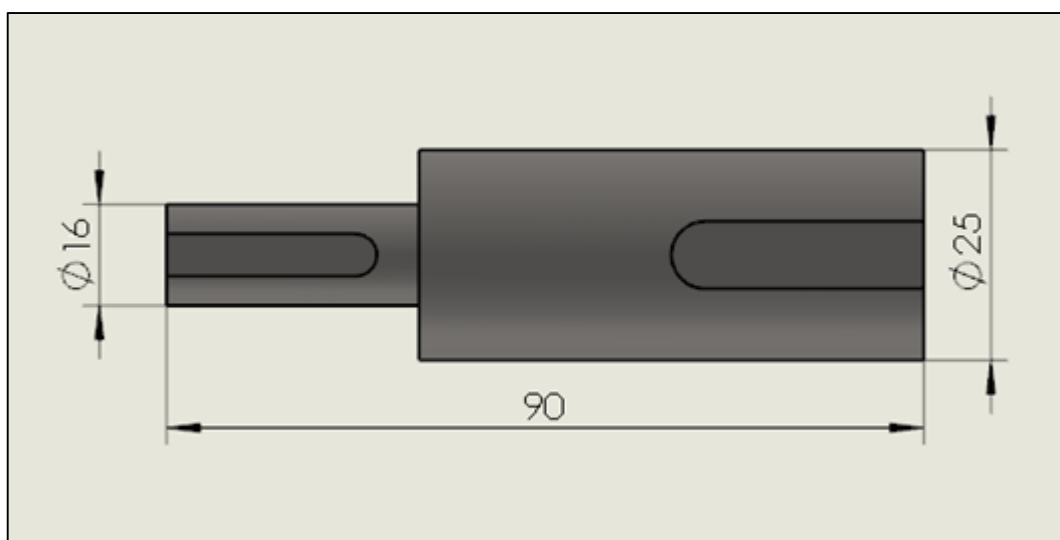
Para diseñar un eje para transmisión, se toma en cuenta el tipo de material con el que se fabrica, la medida del eje y distancias en las que se van a encontrar los distintos elementos para realizar un análisis de fuerzas de cuerpo libre, y obtener diagramas de momento flector y fuerzas cortantes.

Se escoge el ACERO SAE 1018 porque es utilizado para la elaboración de ejes de transmisión, y por ser el más común y fácil de conseguir en nuestro medio.

Los datos del Acero SAE 1018 que sirve para el cálculo del diámetro del eje son:

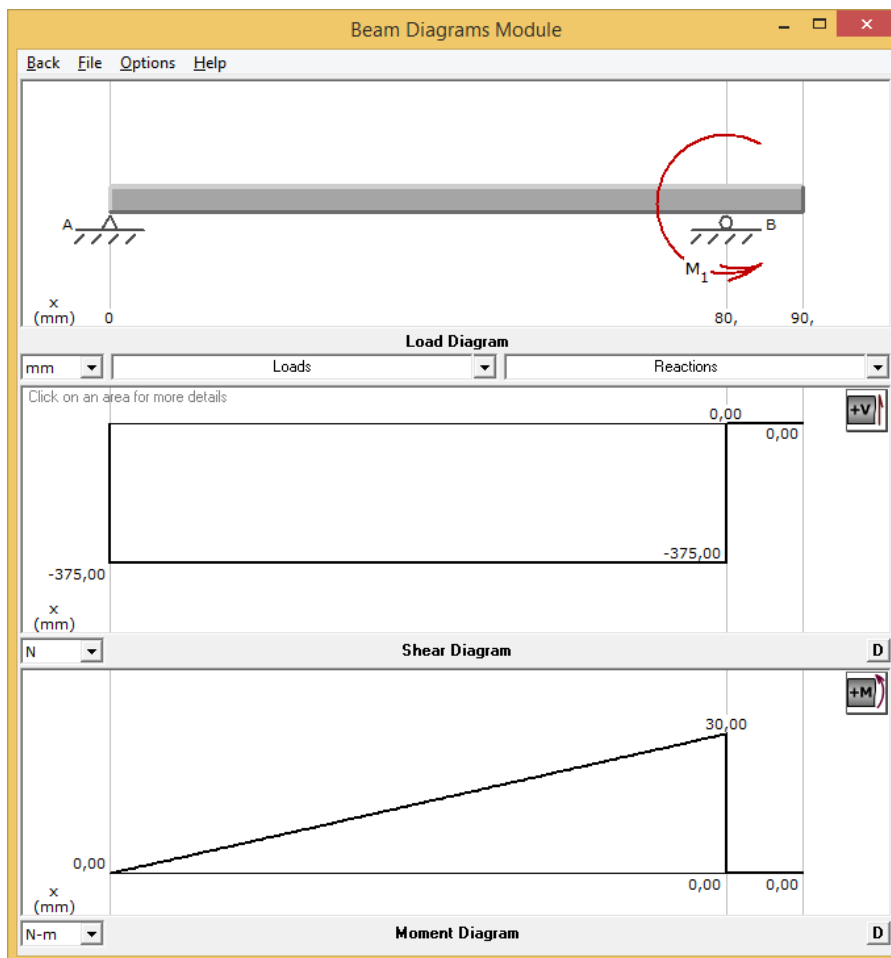
- Resistencia a la fluencia  $S_{y\ 1018} = 352\ MPa$
- Resistencia ultima a la tracción  $S_{ut\ 1018} = 421\ MPa$

Como dato tenemos el diámetro de salida del reductor al cual debe acoplarse nuestro eje que es 25 mm y por el otro lado nuestro piñón de transmisión de diámetro de acople 16 mm y la distancia de acople igual a 90 mm, con estos datos procedemos a realizar el diseño y verificar si el diámetro mínimo calculado se ajusta a nuestro requerimiento.



**Figura No. 3.35: Dimensionamiento del eje**

- *Análisis de cargas.*



**Figura No. 3.36: Gráficas de fuerza cortante y momento flector del eje**

El eje está sometido únicamente a torsión porque se encuentra actuando únicamente el par torsor entonces el momento flector es igual a 0, como se indica en la Figura No. 3.36, de tal manera que el diámetro del eje se lo calcula por cortante directo utilizando las Ecuación 3.24 y Ecuación 3.25.

$$\tau_{max} = \frac{\tau_m \times r}{J}$$

(Ecuación 3.24)

$$J = \frac{\pi \times d^4}{32}$$

(Ecuación 3.25)

Dónde:

$\tau_{\max}$ = Esfuerzo cortante máximo

$\tau_m$ = Torque del moto reductor

r= Radio del eje

J= Segundo Momento polar del área

d= Diámetro del eje

*“Para el diseño de un eje con base a un esfuerzo admisible de un eje macizo a torsión el esfuerzo admisible debe ser mayor o igual al esfuerzo máximo,  $\tau_{adm} \geq \tau_{\max}$ ”.* (Craig, 2003)

*“La resistencia a la fluencia cortante predicha por la energía de distorsión es igual a  $S_{sy} = 0,577 S_y$ ”.* (Budynas, 2012)

Entonces el esfuerzo cortante admisible se calcula con la Ecuación 3.26.

$$\tau_{adm} = \frac{S_{sy}}{FS}$$

(Ecuación 3.26)

Dónde:

$\tau_{adm}$ = Esfuerzo cortante admisible

$S_{sy}$ = Resistencia a la fluencia cortante

FS= Factor de seguridad

$$S_{sy} = 0,577 \times S_{y\ 1018} = 0,577 \times 352 \text{ MPa}$$

$$S_{sy} = 203,104 \text{ MPa}$$

Remplazando datos en la Ecuación 3.26 tenemos que:

$$\tau_{adm} = \frac{203,104 \text{ MPa}}{2} = 101,552 \text{ MPa}$$

Remplazando el segundo momento polar del área (J) en la Ecuación 3.24 y cambiando el radio por el diámetro a la mitad se obtiene:

$$\tau_{max} = \tau_{adm} = \frac{16 \times T}{\pi \times d^3}$$

Despejando, el diámetro mínimo del eje es:

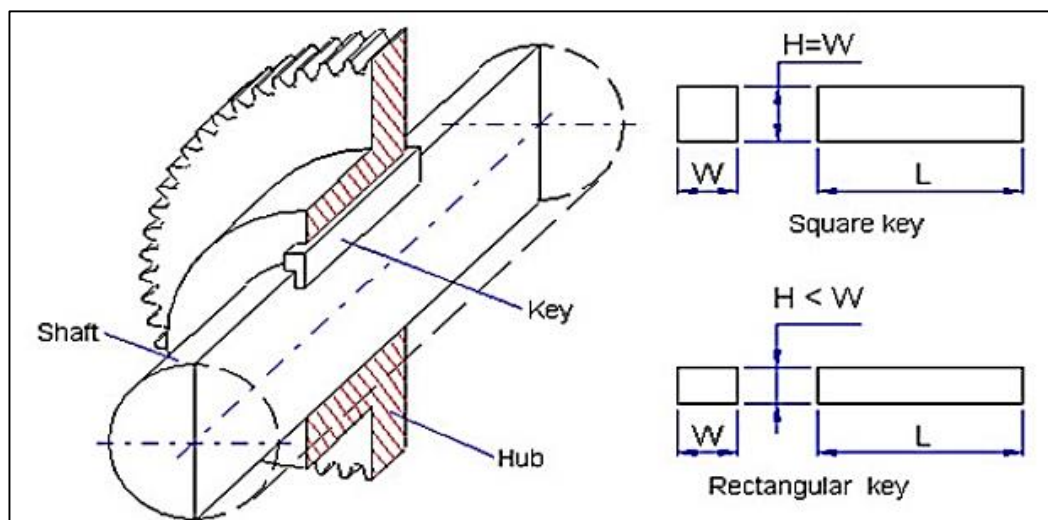
$$d = \sqrt[3]{\frac{16 \times T}{\pi \times \tau_{adm}}} = \sqrt[3]{\frac{16 \times 30000 \text{ Nmm}}{\pi \times 101,552 \text{ MPa}}}$$

$$d = 11,46 \text{ mm}$$

Al obtener el diámetro mínimo comprobamos que el dimensionamiento de la Figura No. 3.35 está correcto.

- **Dimensionamiento de las chavetas.**

Las chavetas se utilizan sobre ejes para fijar elementos rotatorios, como engranes, poleas, ruedas o catarinas.



**Figura No. 3.37: Dimensiones de la chaveta**

*Fuente: (MD Desing, 2010)*

Para la aplicación se usa dos chavetas cuadradas; el eje tiene un diámetro de 25 mm en la salida del reductor y 12 mm en el acople con el piñón, de la tabla de dimensiones estándar de chavetas se obtiene las dimensiones como se indicada en la



Figura No. 3.37, siendo para el reductor  $W=8$  mm y  $H=8$  mm, para el piñón  $W=5$  mm y  $H=5$  mm con estos datos se procede a calcular la longitudes mínimas de las dos chavetas.

La chaveta es fabricada de Acero AISI 1045, con las siguientes características:

- Resistencia a la fluencia  $S_{y\ 1045} = 314\ MPa = 45,5\ kpsi$
- Resistencia ultima a la tracción  $S_{ut\ 1045} = 638\ MPa = 92,5\ kpsi$

Para esto primero se calcula la fuerza en la superficie del eje con la siguiente Ecuación 3.27:

$$F = \frac{T}{D/2}$$

(Ecuación 3.27)

La falla por cortante a lo largo del área de la cara lateral de la chaveta crea un esfuerzo cortante que se calcula con la Ecuación 2.28:

$$\tau = \frac{F}{A_s}$$

(Ecuación 3.28)

Sustituyendo la Ecuación 3.27 en la Ecuación 3.28 tenemos:

$$\tau = \frac{F}{A_s} = \frac{T}{(D/2) \times (W \times L)} = \frac{2 \times T}{(D \times W \times L)}$$

(Ecuación 3.29)

Como tensión de cortadura de diseño podemos adoptar de la Ecuación 3.30:

$$\tau_d = 0,5 \times \frac{S_{y\ 1045}}{N}$$

(Ecuación 3.30)

$$\tau_d = 0,5 \times \frac{314\ MPa}{2} = 78,5\ MPa$$

Entonces despejando de la Ecuación 3.29 tenemos que la distancia mínima de la chaveta es:

$$L_{min} = \frac{2 \times T}{(D \times W \times \tau_d)}$$

- Para el eje de salida del reductor:

$$L_{min r} = \frac{2 \times 30000 \text{ Nmm}}{(25 \text{ mm} \times 8 \text{ mm} \times 78,5 \text{ N/mm}^2)} = 3,82 \text{ mm}$$

- Para el eje del piñón:

$$L_{min p} = \frac{2 \times 30000 \text{ Nmm}}{(12 \text{ mm} \times 5 \text{ mm} \times 78,5 \text{ N/mm}^2)} = 12,74 \text{ mm}$$

Estas son las longitudes mínimas necesarias para las chavetas del motor y el piñón, por lo tanto se escogen chavetas estándar del catálogo respectivo, con las siguientes dimensiones:

- Para el eje de salida del reductor:

$$W_r = 8 \text{ mm}$$

$$H_r = 8 \text{ mm}$$

$$L_r = 30 \text{ mm}$$

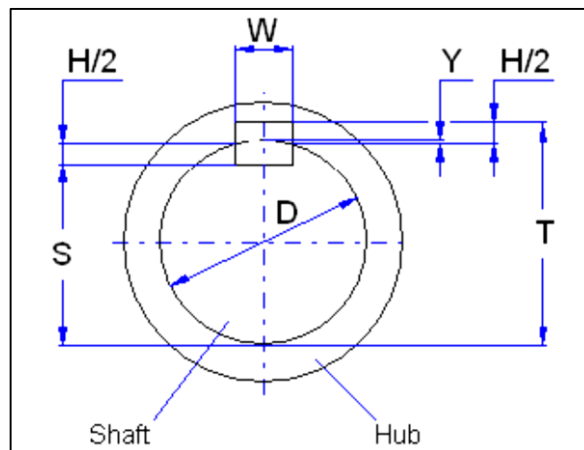
- Para el eje del piñón:

$$W_p = 5 \text{ mm}$$

$$H_p = 5 \text{ mm}$$

$$L_p = 30 \text{ mm}$$

Con estas medidas establecidas podemos dimensionar el chavetero como se indica en la Figura 3.38.



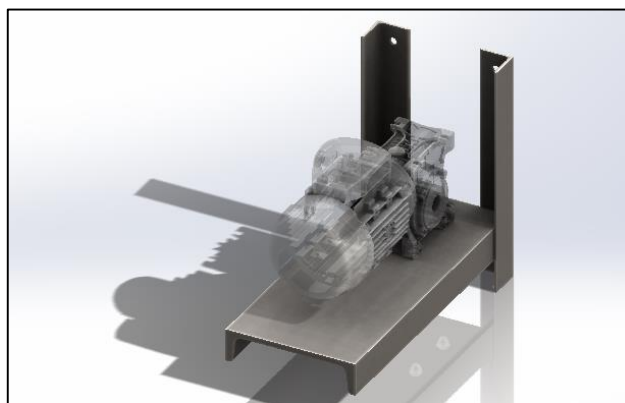
**Figura No. 3.38: Dimensiones del chavetero**

*Fuente: (MD Desing, 2010)*

#### **3.5.2.8.2. Diseño de la base de soporte del motor**

Teniendo en cuentas las medidas de largo y ancho del motor y su peso más el del reductor y el eje de transmisión se procede a dimensionar la base que sujetará a todos estos elementos como se observa en la Figura No. 3.39, la cual va sujeta a la estructura del transportador de rodillos mediante pernos.

Para lo cual se utilizó 2 ángulos estructurales L de 50x50x4 mm longitud 350 mm para la sujeción a la estructura del transportador y para la base se utilizó un perfil C 200x25 mm y longitud 450 mm, estos elementos se unen mediante cordón de soldadura, para más detalles ver lo plano mecánico No. CMM-BMR-00 del Anexo A.









**Figura No. 3.39: Base de soporte del motor**



## AUTOMATIC GUNS

### S-710AA/AB ( For Industrial Use )

- ☆ Lightweight ; installed on automatic, mass-production spraying lines
- ☆ Precision type (AA), compact type (AB), or compact deluxe type (AD)
- ☆ High transfer efficiency and quick shut-off response, reducing paint wastage
- ☆ H.V.L.P. (environmental-friendly) version available

MODEL	 (Ømm)	 IN (psi)	 (L/min)	 (mL/min)	 (mm)	 COMPRESSOR (kw)
S-710AA-0P/00P	0.6P		135/230	130~200	135/200	
S-710AA-1P/01P	1.0P		145/290	145~300	145/215	
S-710AA-2P/02P	1.3H	40~50	200/310	170~300	185/220	2.2+
S-710AA-3P/03P	1.5H		235/350	215~470	210/230	
S-710AA-4P/04P	1.8H		250/370	250~520	220/240	
S-710AA-5P/05P	2.0H		280/400	260~560	270/320	
SV-710AA-103P	1.0H	29	205	160	220	
S-710AB/AD-00P	0.6		113	85	80	
S-710AB/AD-0P	0.8		136	100	90	
S-710AB/AD-1P	1.0	35~50	150	115	100	0.75~1.5
S-710AB/AD-2P	1.3		178	125	140	
S-710AB/AD-3P	1.5		190	140	145	

• Ø2.5mm NOZZLE ALSO AVAILABLE FOR S-710AA

• Ø1.8/2.0mm NOZZLE ALSO AVAILABLE FOR S-710AB/AD

• Ø0.4/0.6mm NOZZLE ALSO AVAILABLE FOR SR-710AA/AB/AD

• AIR INLET: 1/4" PF/NPS (M) FLUID INLET: 1/4" PF/NPS (M)



S-710AA-01P



S-710AB-1P

Figura No. 3.41: Características de la Pistola Automática

Fuente: (Rich Star, 2012)

En total se utilizan 3 pistolas de este tipo como se muestra en la Figura No. 3.42 para cada una de las capas de pintura a pulverizar, con lo cual disminuimos el tiempo de limpieza ya que cada sistema de pulverización es independiente en el momento de aplicar la capa de pintura requerida.



**Figura No. 3.42: Pistola Automática Rich Star**

### 3.5.3.2. Selección del Actuador Lineal para el Cabezal Porta-pistolas

Teniendo en cuenta el análisis y selección de alternativas previas en el punto 3.1 a continuación realizamos la selección de un RODLESS CYLINDERS de la serie MAGNETIC RODLESS CYLINDER (MRU- BUSHING TYPE), en la tabla No. 3.14 se describen las características del fabricante.

**Tabla No. 3.14:**

#### Características de Técnicas de un Cilindro MRU

Model	Bore Size Ø mm	Theoretical Thrust Kgf	Max. Load Kgf	Speed Range mm/s	Pressure Range Kgf/cm <sup>2</sup> (Kpa)	Standard stroke mm
MRU-10	10	4	2.8			100~500
MRU-15	15	8	6.5		1.5~7	(700)
MRU-20	20	15	11	50~500	(150~700)	100~800
MRU-25	25	24	19			
MRU-32	32	40	31			(1200)
MRU-40	40	62	48			

*Fuente: (CHELIC PNEUMATIC EQUIPMENTS, 2013)*

Seleccionamos un cilindro MRU con un diámetro de 32 mm el cual permite una carga máxima de 31 Kgf suficiente para acoplarse a nuestra necesidad de carga de 15 Kgf y su carrera total de 1200 mm que cubre la distancia de pintado de todo el ancho de la lámina de 1100 mm.



**Figura No. 3.43: MRU 32x1200mm Marca Chelic**

### 3.5.3.3. Diseño del Cabezal Porta-pistolas

Para este cabezal de sujeción y regulación de alturas de las pistolas automáticas sobre el cilindro lineal, al no estar sometido a esfuerzos ni deformaciones altas se considera como material constructivo el Aluminio con lo cual se logra reducir el peso notablemente y se da mejor estética a la estructura sobre el MRU.

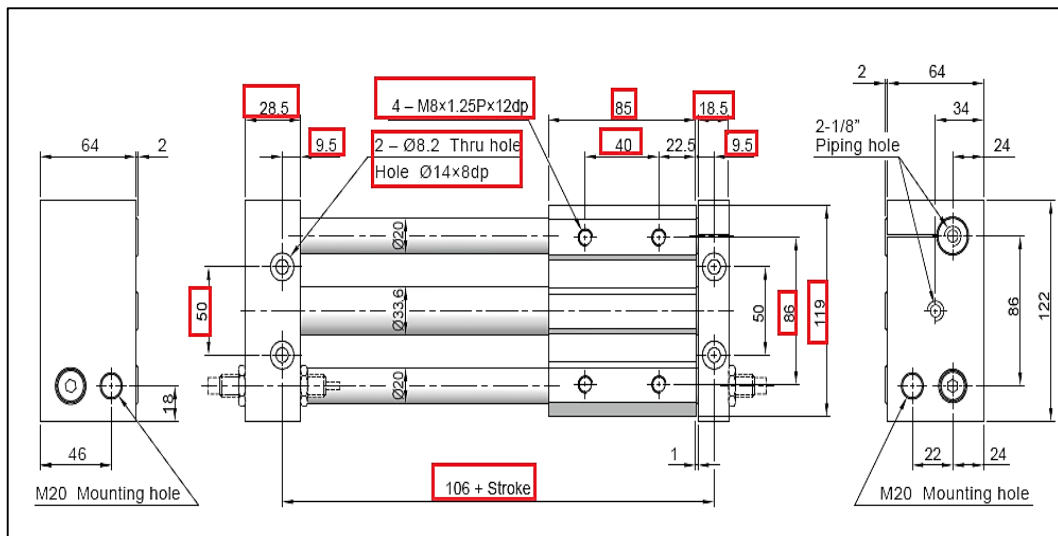
Es necesario conocer el área sobre la cual se va a ensamblar este cabezal por lo cual recurrimos al catálogo técnico del MRU Adjunto en el Anexo D. y de donde podemos extraer las medidas necesarias como se muestra en la Figura No. 3.44.

En la Figura No 3.45 se describe cada uno de los componentes del cabezal porta-pistolas diseñados para sujetar las pistolas automáticas de pintura.

Tenemos el peso de la pistola automática  $W_{PA} = 620$  gramos, especificado en los datos técnicos del catálogo del fabricante, con lo cual podemos calcular el peso total de las 3 pistolas que van sujetas al cabezal porta pistolas.

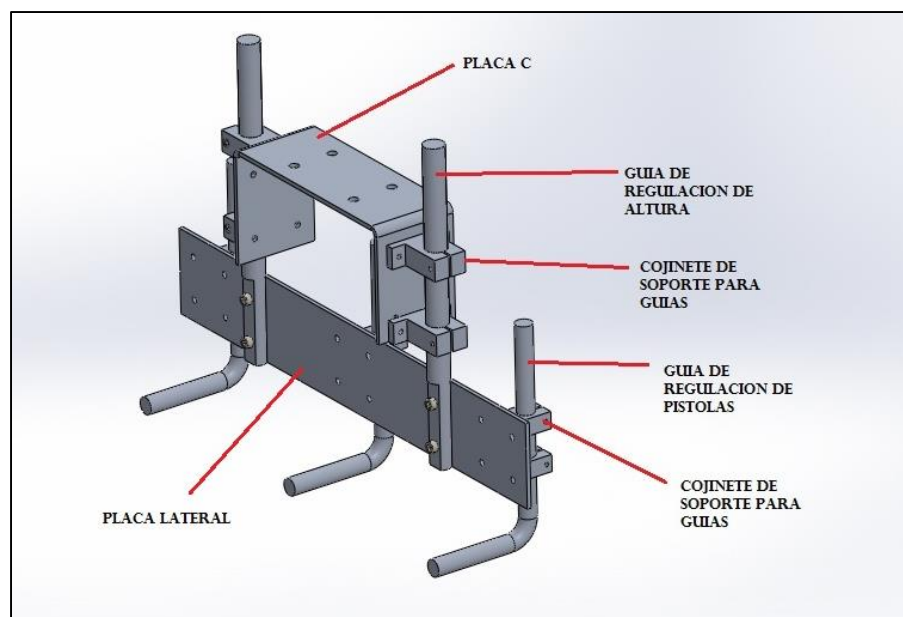
$$W_{3PA} = 620 \text{ gr} \times 3$$

$$W_{3PA} = 1800 \text{ gr} = 1,8 \text{ Kg} = 17,64 \text{ N}$$



**Figura No. 3.44: Medidas MRU 32x1200mm**

*Fuente: (CHELIC PNEUMATIC EQUIPMENTS, 2013)*



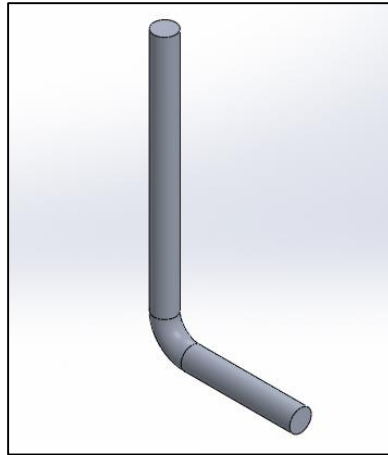
**Figura No. 3.45: Esquema general del Cabezal Porta-pistolas**

### 3.5.3.3.1. Dimensionamiento de guías de regulación de pistolas

Tenemos como dato técnico el diámetro de acople de las pistolas automáticas que es de 16 mm, por lo que se utilizan 3 barra de aluminio de diámetro 16 mm y 300 mm

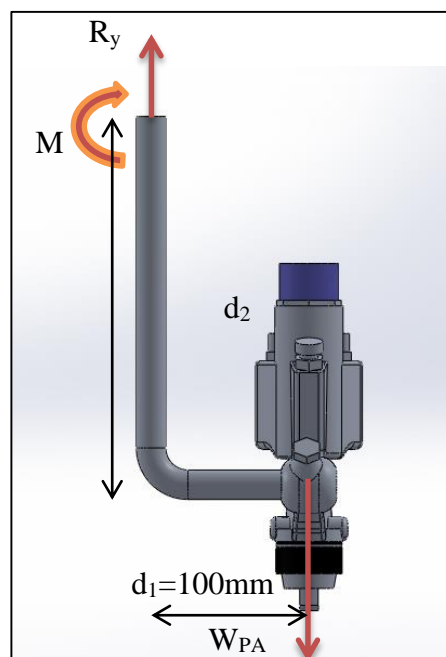


de largo, las cuales se doblan formando un ángulo de  $90^\circ$  en donde se insertan las pistolas. Estas guías nos permiten la regulación individual tanto de la altura de las pistolas en un rango de entre 0 a 80 mm, el posición en profundidad entre 0 y 50 mm y la rotación de las pistolas un ángulo de  $360^\circ$ , plano constructivo No. EPP-03 en el Anexo A.



**Figura No. 3.46: Esquema Guía de Regulación de Pistolas**

- **Análisis de cargas:**



**Figura No. 3.47: Diagrama de fuerzas en guía de regulación de pistolas**

El peso de la pistola es:

$$W_{PA} = 0,62 \text{ Kg} = 6,076 \text{ N}$$

El momento de inercia es igual a:

$$M = W_{PA} \times d_1$$

$$M = 6,076 \text{ N} \times 100 \text{ mm} = 607,6 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Procedemos a calcular la tensión máxima a la que está sometida la barra con la Ecuación 3.31:

$$\sigma_t = \frac{W_{PA}}{A} + \frac{M \times c}{I}$$

(Ecuación 3.31)

Dónde:

$W_{PA}$ = Peso de la pistola

$A$ = Área transversal de la barra

$M$ = Momento de inercia

$c$ = Radio de la barra

$I$ =Inercia de la barra

El área transversal de la barra se calcula con la siguiente Ecuación 3.32 tomando en cuenta el diámetro de diseño de la barra de 16 mm:

$$A = \frac{\pi}{4} \times D^2$$

(Ecuación 3.32)

$$A = \frac{\pi}{4} \times (16 \text{ mm})^2 = 201,06 \text{ mm}^2$$

La inercia de una barra redonda se calcula con la siguiente Ecuación 3.33 teniendo en cuenta un diámetro de 16 mm:

$$I = \frac{\pi}{64} \times D^4$$

(Ecuación 3.33)

$$I = \frac{\pi}{64} \times (16 \text{ mm})^4 = 3217 \text{ mm}^4$$

El radio  $c$  de la barra será igual a:

$$c = \frac{D}{2} = 8 \text{ mm}$$

Entonces reemplazando en la Ecuación 3.31 tendremos que la tensión máxima de la barra es igual a:

$$\sigma_t = \frac{6,076 \text{ N}}{201,06 \text{ mm}^2} + \frac{607,6 \text{ N} \cdot \text{mm} \times 8 \text{ mm}}{3217 \text{ mm}^4}$$

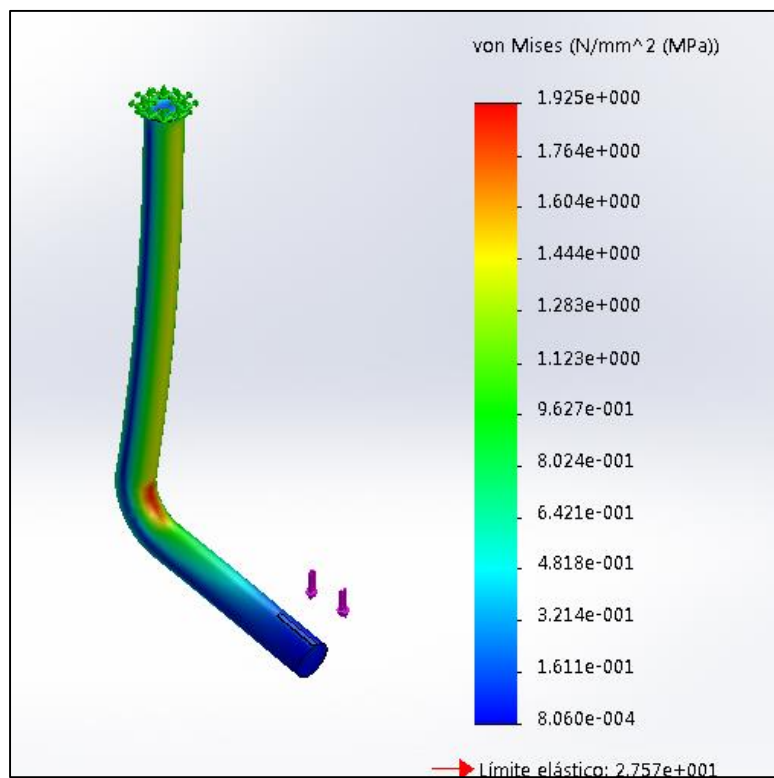
$$\sigma_t = 1,541 \text{ MPa} = 1541 \text{ kPa}$$

El factor de seguridad se obtiene con referencia al límite elástico del aluminio 1060 ( $\sigma_E = 27,57 \text{ MPa}$ ), por tanto:

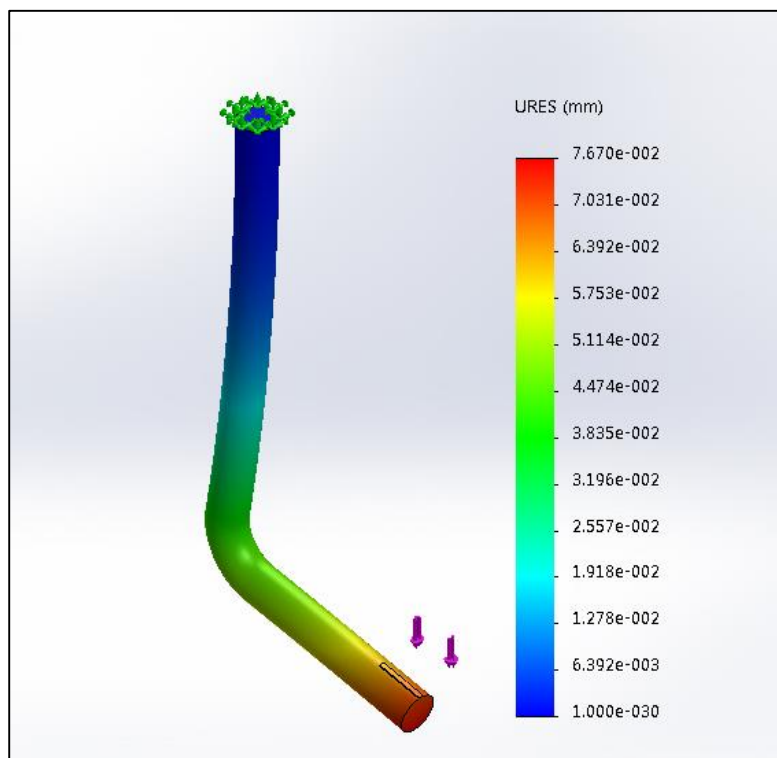
$$FS = \frac{\sigma_E}{\sigma_t} = \frac{27,57}{1,541} = 17,89$$

- **Simulación:**

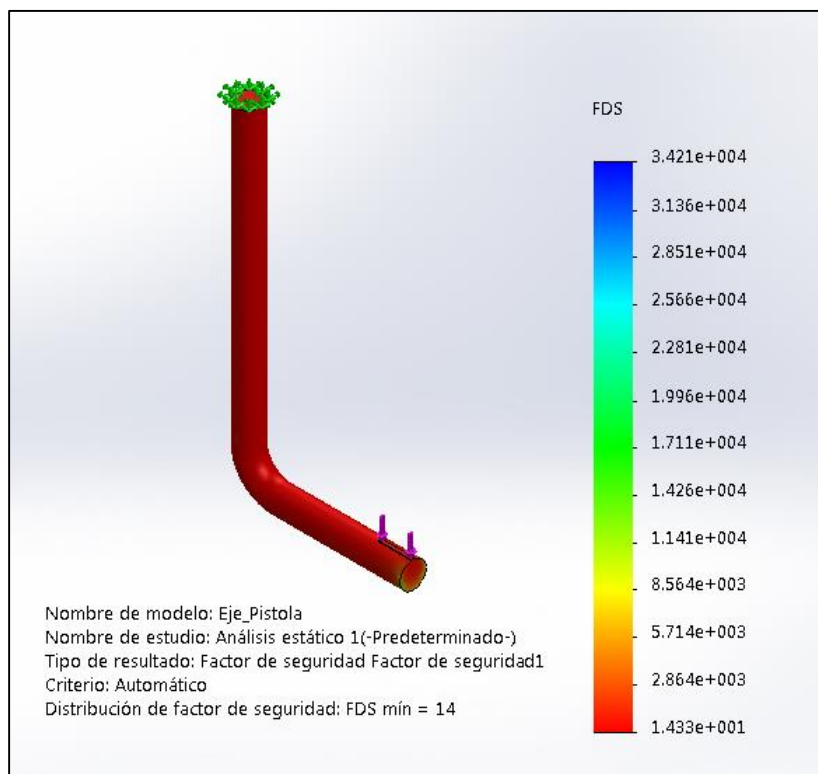
De la simulación CAD se obtuvo que con base a los parámetros especificados, el factor de seguridad más bajo encontrado en el diseño es de 14, como se puede observar en la Figura No. 3.50.



**Figura No. 3.48: Simulación del límite elástico del Eje de la Pistola**



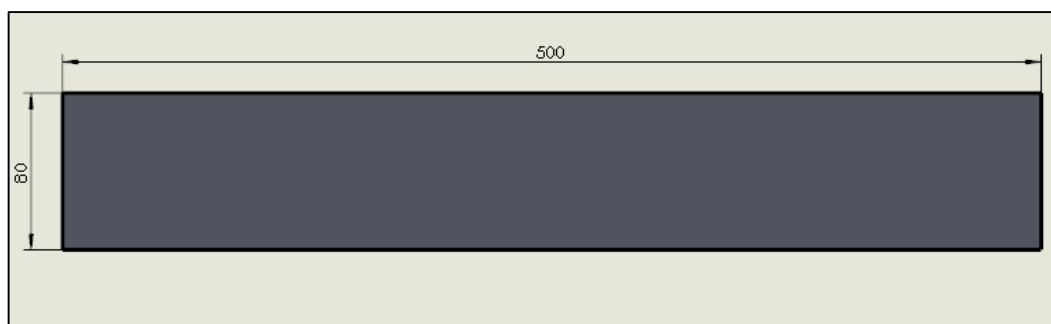
**Figura No. 3.49: Simulación del desplazamiento del Eje de la Pistola**



**Figura No. 3.50: Simulación del FS del Eje de la Pistola**

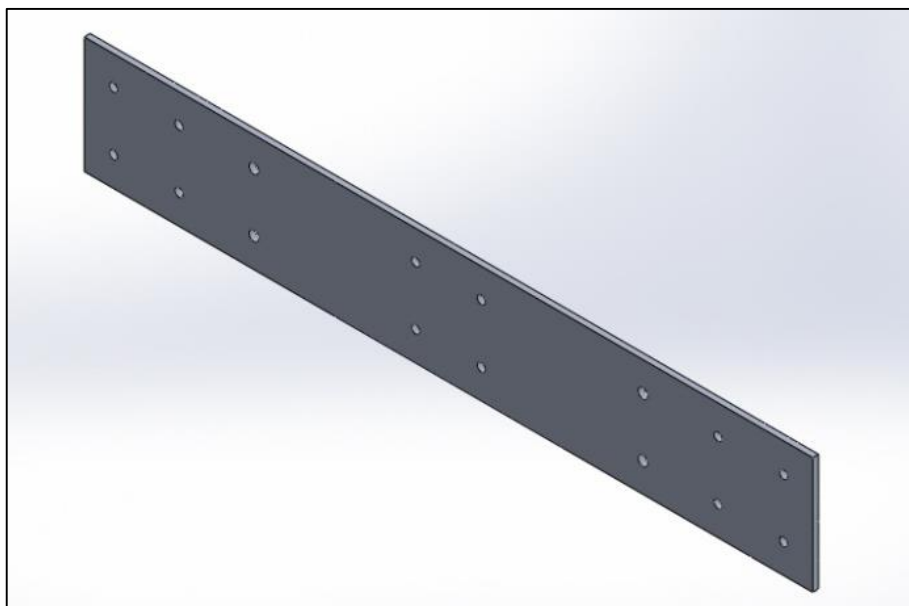
### 3.5.3.3.2. Dimensionamiento de la Placa Lateral de Soporte

Se utiliza una placa de aluminio de 500 mm x 80 mm de espesor 4 mm como se observa en la Figura No. 3.51.



**Figura No. 3.51: Medidas Placa Lateral de Aluminio**

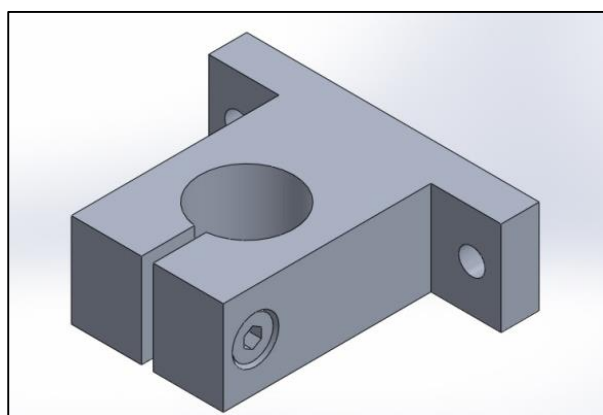
Luego realizamos las respectivas perforaciones para tornillos M5 los cuales sirven para acoplar los cojinetes de las guías como se muestra en la Figura No. 3.52, plano constructivo No. EPP-02-01 en el Anexo A.



**Figura No. 3.52: Esquema Placa Lateral de Soporte**

#### **3.5.3.3.3. Dimensionamiento de los cojinetes para las guías**

Se diseñan a partir de una barra rectangular de aluminio de 62 mm x 122 mm de espesor 20 mm, 4 cojinetes de 60 mm x 60 mm con diámetro interior de 20 mm 2 para cada guía de regulación de altura, 6 cojinetes de 60 mm x 60 mm con diámetro interior de 16 mm 2 para cada una de las 3 guías de las pistolas, y finalmente para el ajuste se utilizan tornillos M6 de cabeza hexagonal y largo 25 mm, y para el acople en la base se realizan perforaciones para tornillos M5, como se observa en la Figura No. 3.53, planos constructivos No. EPP-01-02 y EPP-02-02 en el Anexo A.



**Figura No. 3.53: Esquema de cojinetes para las Guías**

#### 3.5.3.3.4. Dimensionamiento de guías de regulación de altura

Se utilizan 2 barra de aluminio de diámetro 20 mm y 300 mm de largo ver Figura No. 3.54. Las cuales nos permiten regular la altura de todo el conjunto del cabezal porta-pistolas en un rango de entre 0 a 110 mm, plano constructivo No. EPP-02-03 en el Anexo A.

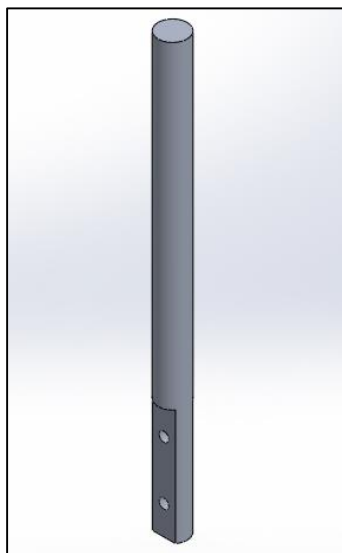


Figura No. 3.54: Esquema Guía de Regulación de Altura

- *Análisis de cargas:*

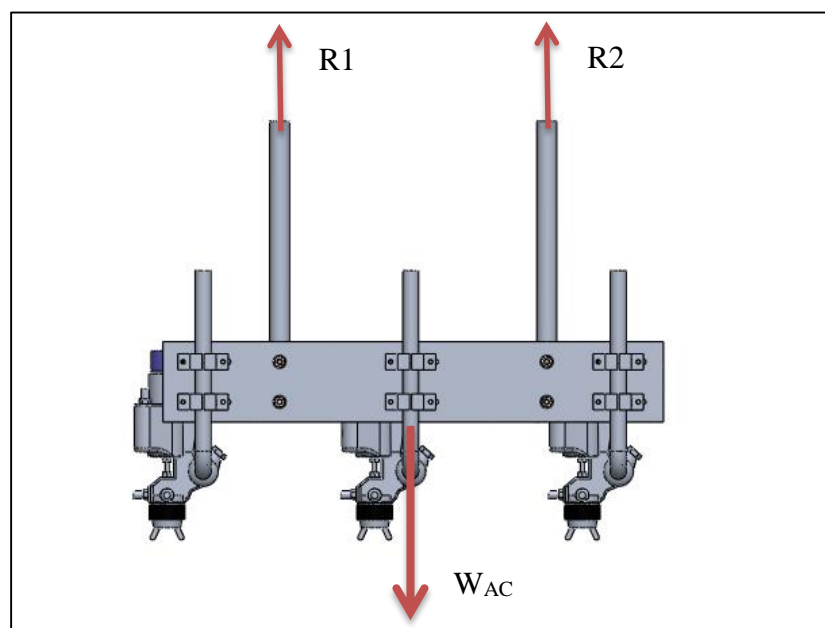
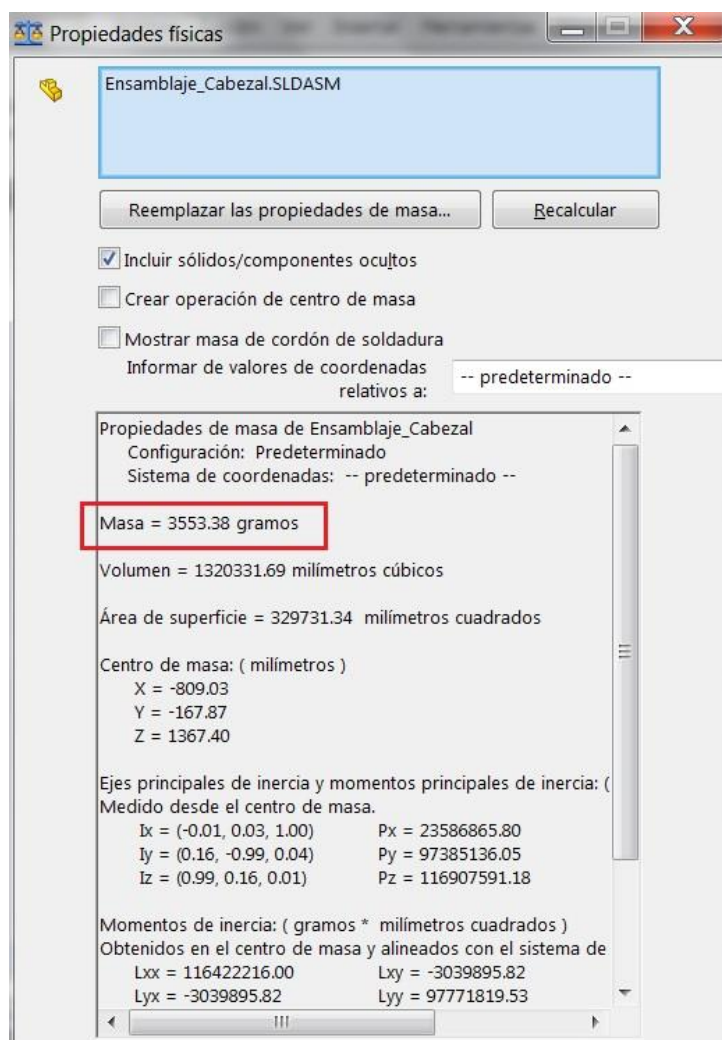


Figura No. 3.55: Diagrama de fuerzas en guía de regulación

Esta barra está sometida a fuerzas de tracción por los pesos de las 3 pistolas con sus barras guías, los 6 cojinetes y la placa lateral de soporte como se observa en la Figura 3.55, vamos a utilizar la herramienta de SolidWorks para calcular el peso aproximado de estos componentes.

De la Figura 3.56 podemos observar que el peso aproximado del conjunto mencionado es igual a:

$$W_{AC} = 3,554 \text{ Kg} = 34,823 \text{ N}$$



**Figura No. 3.56: Propiedades físicas de los elementos**

*Fuente: (SolidWorks, 2014)*



Procedemos a calcular la tensión máxima a la que está sometida la barra con la Ecuación 3.34:

$$\sigma_{tGR} = \frac{W_{AC}/2}{A_{GR}}$$

*(Ecuación 3.34)*

Dónde:

$W_{AC}$ = Peso del conjunto

$A_{GR}$ = Área transversal de la barra

El área transversal de la barra se calcula con la siguiente Ecuación 3.35:

$$A_{GR} = \frac{\pi}{4} \times D^2$$

*(Ecuación 3.35)*

$$A_{GR} = \frac{\pi}{4} \times (20 \text{ mm})^2 = 314,16 \text{ mm}^2$$

Entonces reemplazando en la Ecuación 3.34 tendremos que la tensión máxima de la barra es igual a:

$$\sigma_{tGR} = \frac{\frac{34,823 \text{ N}}{2}}{314,16 \text{ mm}^2} = 0,055 \text{ MPa}$$

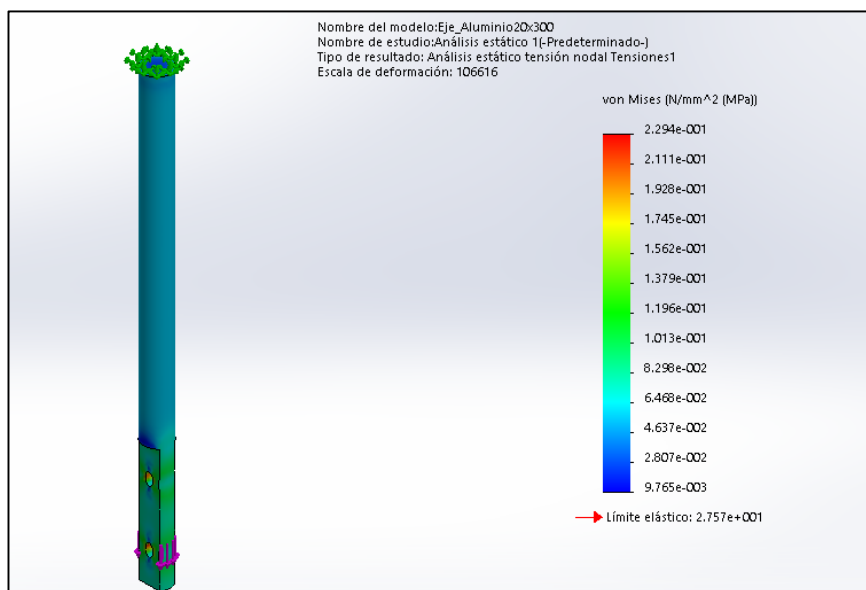
El factor de seguridad se obtiene con referencia al límite elástico del aluminio 1060 ( $\sigma_E = 27,57 \text{ MPa}$ ), por tanto:

$$FS = \frac{\sigma_E}{\sigma_t} = \frac{27,57}{0,055} = 501,27$$

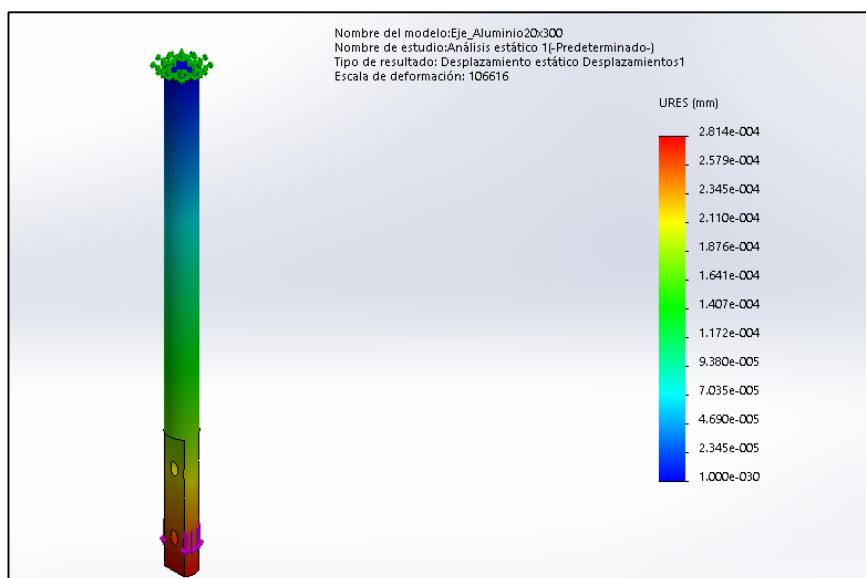
Esto quiere decir que nuestra barra está sobre dimensionada para el peso establecido del conjunto porta pistolas, con lo cual nos aseguramos que en un futuro se pueda cargar más pistolas u otros elementos al cabezal.

- **Simulación:**

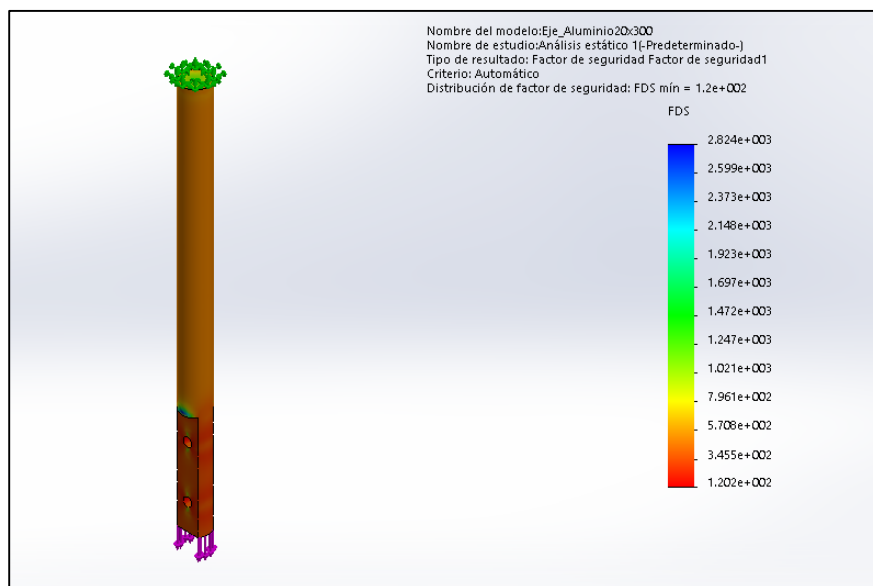
De la simulación CAD se obtuvo que con base a los parámetros especificados, el factor de seguridad más bajo encontrado en el diseño es de 120, como se puede observar en la Figura No. 3.59.



**Figura No. 3.57: Simulación del límite elástico de la guía de regulación**



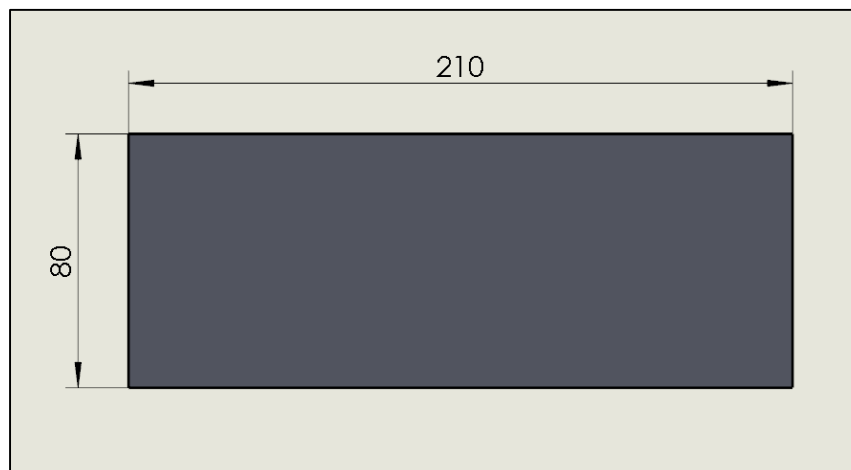
**Figura No. 3.58: Simulación del desplazamiento la guía de regulación**



**Figura No. 3.59: Simulación del FS la guía de regulación**

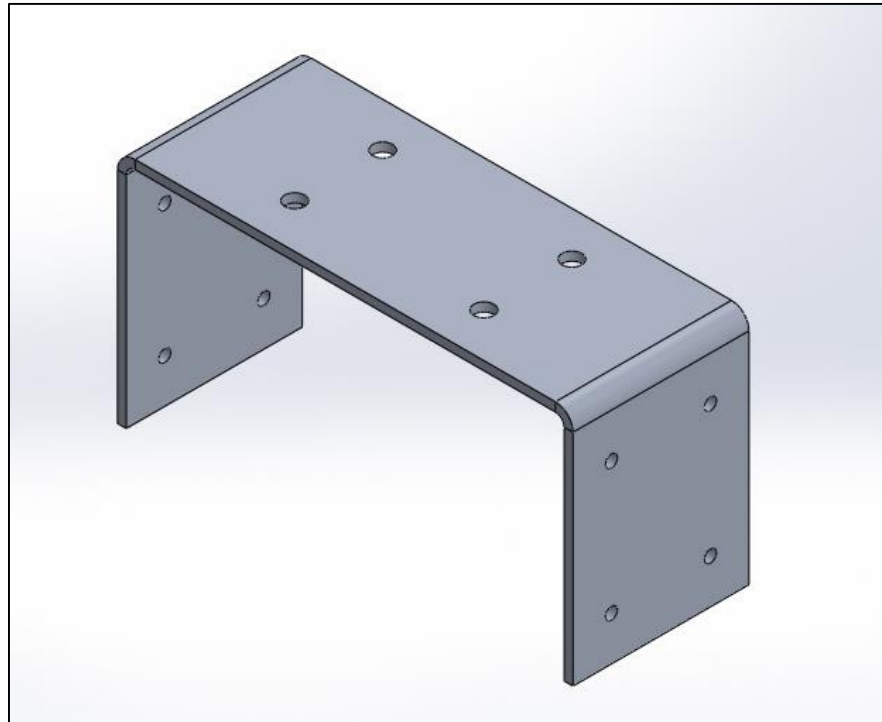
#### 3.5.3.3.5. Dimensionamiento placa C de acople sobre el MRU

Se utiliza una placa de aluminio de 210 mm x 80 mm de espesor 4 mm como se observa en la Figura No. 3.60.



**Figura No. 3.60: Medidas Placa C de Aluminio**

Luego le damos la forma y las perforaciones necesarias hasta que quede como se muestra en la Figura No. 3.61, más detalles en el plano constructivo No. EPP-01-01 que se encuentran en el Anexo A.



**Figura No. 3.61: Esquema Placa C de Aluminio**

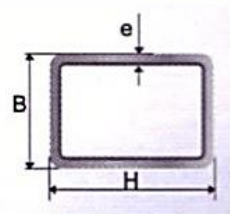
#### **3.5.3.3.6. Diseño de la estructura de soporte para el Cilindro MRU**

Tomando las medidas dadas de la Figura No. 3.44 podemos determinar que el ancho del cilindro MRU es de 122 mm y la medida entre centros de los agujeros para acople laterales de 50 mm y horizontales de 106 mm + Stroke donde el Stroke es la carrera especificada de 1200 mm por lo cual la medida entre centros es de 1306 mm, con lo cual seleccionamos un tubo estructural rectangular de acero A500 Gr.A de 80 mm x 40 mm con un espesor de 2 mm (ver Figura No. 3.62).

Esta estructura se diseña (ver Figura No. 3.63) para ser colocada sobre el transportador de rodillos y de esta manera ensamblar el cilindro MRU a una altura de 600 mm, tiene un largo de 1422 mm suficiente para servir de apoyo a todo el largo del cilindro MRU, además soporta la carga de todo el cabezal porta pistolas incluidas las 3 pistolas automáticas pulverizadoras de pintura.

Los detalles de medidas, perforaciones y soldaduras se pueden observar en los planos constructivos No. CMM-14-SC-00 y CMM-14-SC-01 del Anexo A.

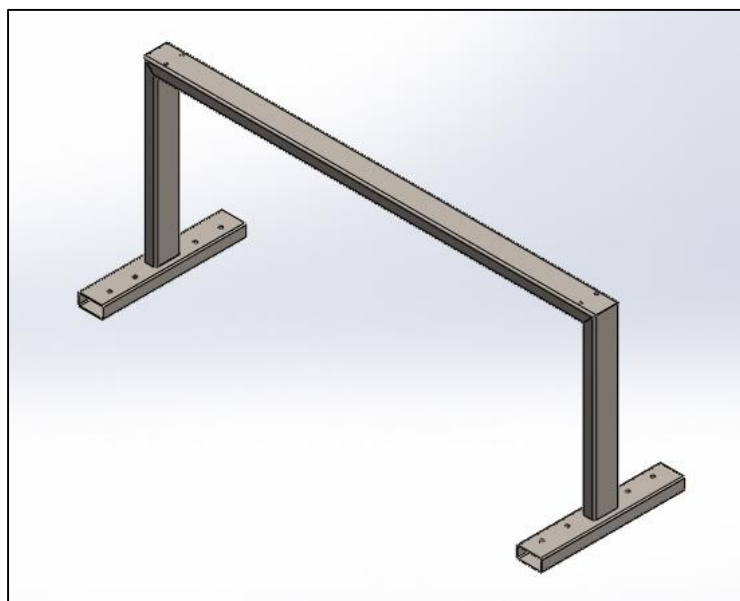
Tubo Estructural Rectangular				
Largo Normal:	6 m			
Recubrimiento:	Negro o Galvanizado			
Norma de Fabricación:	ASTM A 500 Gr.A, B ó C NTE INEN 2415			
Norma de Galvanizado:	ASTM A 123			
Espesores:	Desde 1.50 a 6.00 mm			
Observaciones:	Otras dimensiones y largos previa consulta			



Dimensiones		Espesor	Área	Peso
B	H	e	A	P
mm	mm	mm	cm <sup>2</sup>	kg/m
20	40	1.50	1.65	1.30
		2.00	2.14	1.68
25	50	1.50	2.10	1.65
		2.00	2.74	2.15
		3.00	3.91	3.07
30	50	1.50	2.25	1.77
		2.00	2.94	2.31
		3.00	4.21	3.30
40	60	1.50	2.85	2.24
		2.00	3.74	2.93
		3.00	5.41	4.25
30	70	1.50	2.85	2.24
		2.00	3.74	2.93
		3.00	5.41	4.25
40	80	2.00	4.54	3.56
		3.00	6.61	5.19
		4.00	8.55	6.71

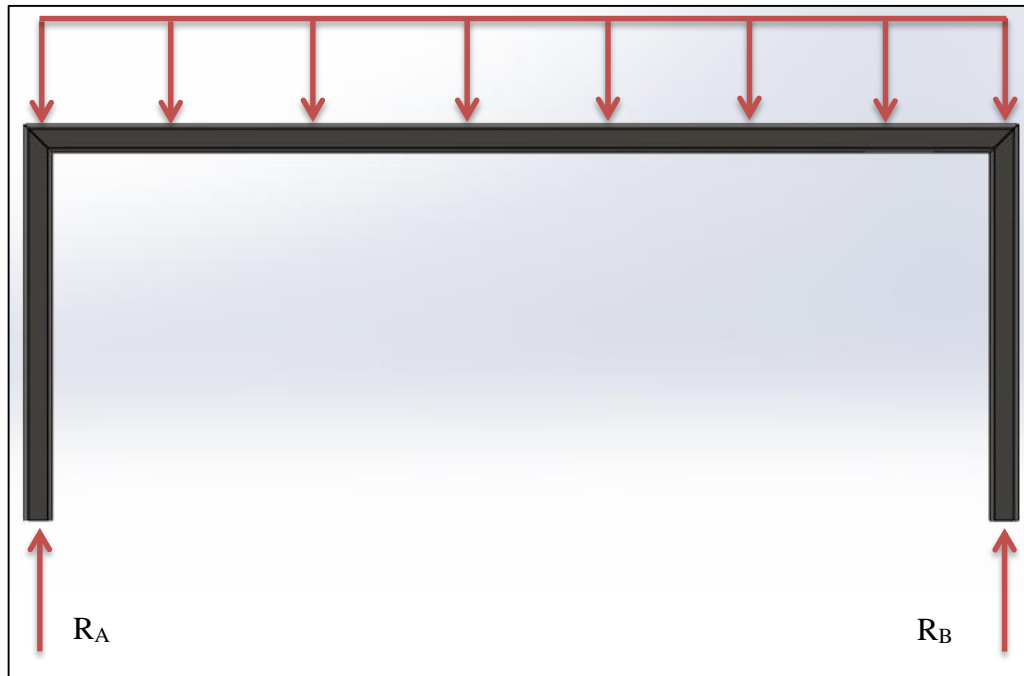
**Figura No. 3.62: Tubo estructural rectangular de acero A500 Gr.A**

*Fuente: (PROVIACEROS Cia. Ltda., 2013)*



**Figura No. 3.63: Esquema Estructura de Soporte Cilindro MRU**

- *Análisis de cargas:*



**Figura No. 3.64: Diagrama de fuerzas en Estructura de Soporte Cilindro MRU**

El peso total  $W_{TC}$  sobre la estructura es igual a la suma del peso del cilindro MRU más el peso del cabezal porta pistolas y el peso de las 3 pistolas como se observa en la Ecuación 3.36.

$$W_{TC} = W_{MRU} + W_{CPP} + W_{3PA}$$

(Ecuación 3.36)

Del catálogo técnico del cilindro MRU tenemos que el peso  $W_{MRU}$  se calcula de la siguiente manera aplicando la Ecuación 3.37:

$$W_{MRU} = 4,36 \text{ Kg} + \left( \frac{0,267 \text{ Kg}}{50 \text{ mm}} \times \text{Stoke} \right)$$

(Ecuación 3.37)

Donde el Stoke es la carrera del cilindro seleccionado.

$$W_{MRU} = 4,36 \text{ Kg} + \left( \frac{0,267 \text{ Kg}}{50 \text{ mm}} \times 1200 \text{ mm} \right)$$

$$W_{MRU} = 4,36 \text{ Kg} + 6,408 \text{ Kg} = 10,768 \text{ Kg}$$

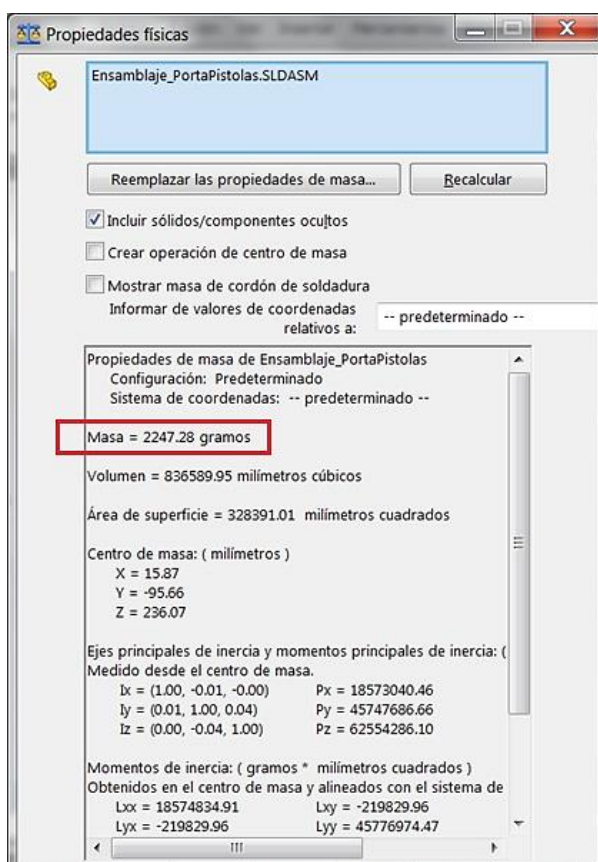
Para obtener el peso total aproximado de los componentes que conforman el cabezal porta-pistolas vamos a utilizar la herramienta de cálculo de propiedades del diseño en SolidWorks como se muestra en la Figura No. 3.65.

Entonces tenemos que el peso del cabezal porta pistolas es  $W_{CPP} = 2,247 \text{ Kg}$ .

Reemplazando todos los datos en la Ecuación No. 3.36 tenemos que:

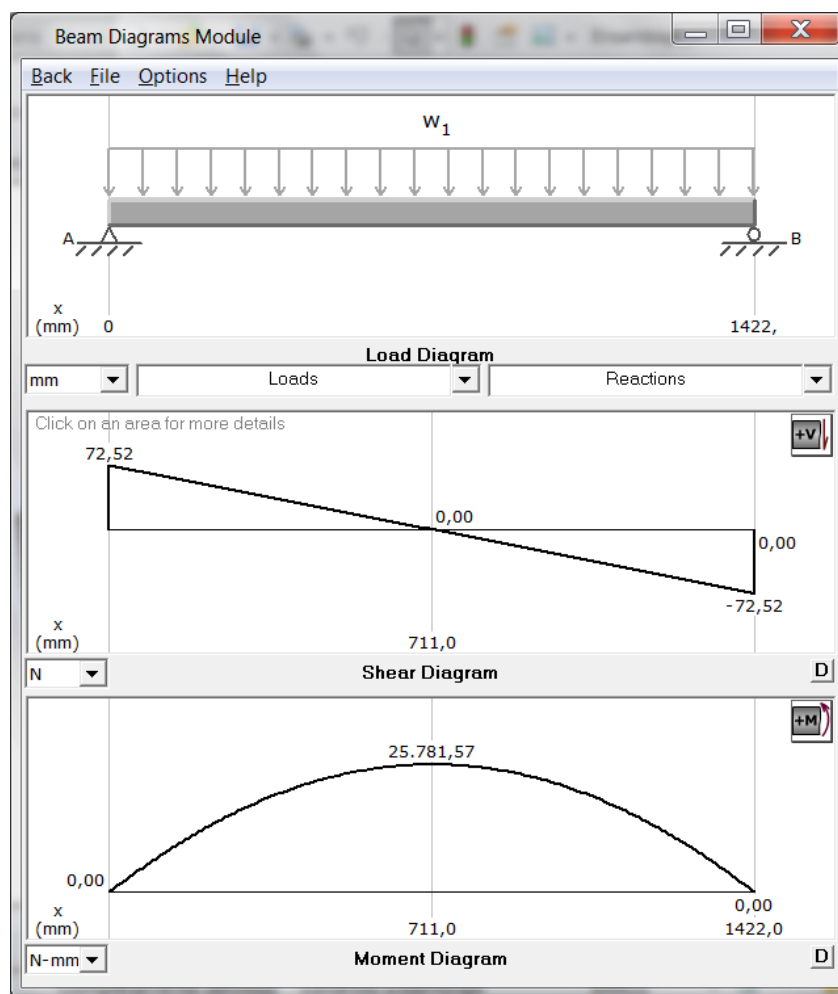
$$W_T = 10,768 \text{ Kg} + 2,247 \text{ Kg} + 1,8 \text{ Kg}$$

$$W_T = 14,815 \text{ Kg} = 145,187 \text{ N}$$



**Figura No. 3.65: Propiedades Físicas del Cabezal Porta-pistolas**

*Fuente: (SolidWorks, 2014)*



**Figura No. 3.66: Graficas de fuerza cortante y momento flector de la Estructura del Cabezal Porta-pistolas**

Con la ayuda del software MDSolids obtenemos los valores máximos de la fuerza cortante y el momento flector (Figura No. 3.66) producidos en la estructura de soporte.

Obtenemos como resultado que la fuerza cortante máxima es de 72,52 N y el momento flector máximo es de 25781,27 N.mm.

El mayor esfuerzo que sufre la estructura es debido a flexión y por tanto tenemos la Ecuación 3.38:

$$\sigma_{Fse} = \frac{M_{se}}{S_{se}}$$

(Ecuación 3.38)



Dónde:

$\sigma_{Fse}$ =Esfuerzo por flexión de la estructura de soporte del cabezal porta-pistola

$M_{se}$ =Momento de flexión máximo en la estructura de soporte del cabezal porta pistola

$S_{se}$ =Modulo de sección de la estructura de soporte del cabezal porta-pistola.

De la tabla del Anexo E tenemos que el módulo de sección de un tubo estructural rectángulo de 80x40x2 mm es:

$$S_{se} = 2,80 \text{ cm}^3 = 2800 \text{ mm}^3$$

Entonces reemplazando en la Ecuación 3.38 tenemos:

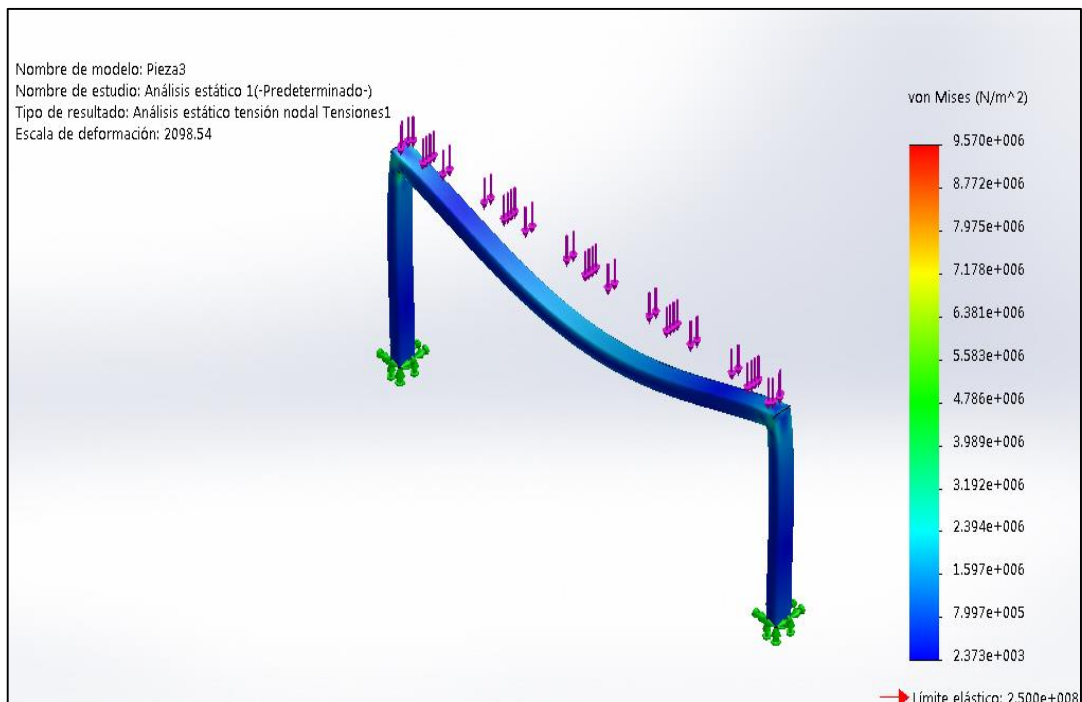
$$\sigma_{Fse} = \frac{25781,27 \text{ N.mm}}{2800 \text{ mm}^3} = 9,21 \text{ MPa}$$

El factor de seguridad se obtiene con referencia al límite elástico del acero ASTM36 ( $\sigma_E = 250 \text{ MPa}$ ), por tanto:

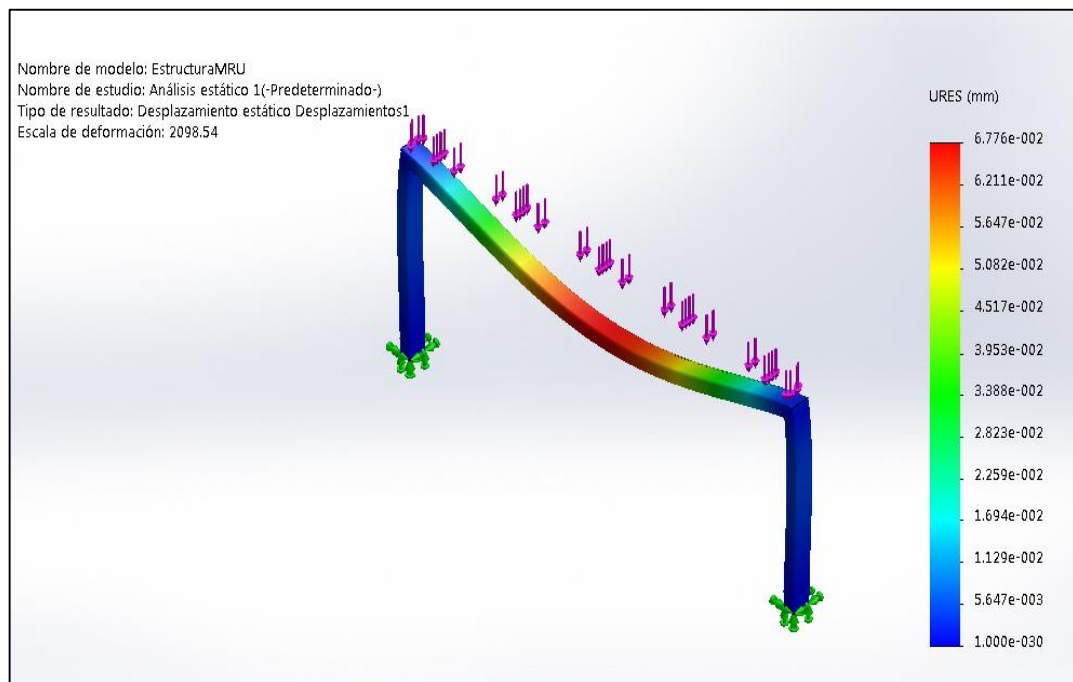
$$FS = \frac{\sigma_E}{\sigma_{Fse}} = \frac{250}{9,21} = 27,15$$

- **Simulación:**

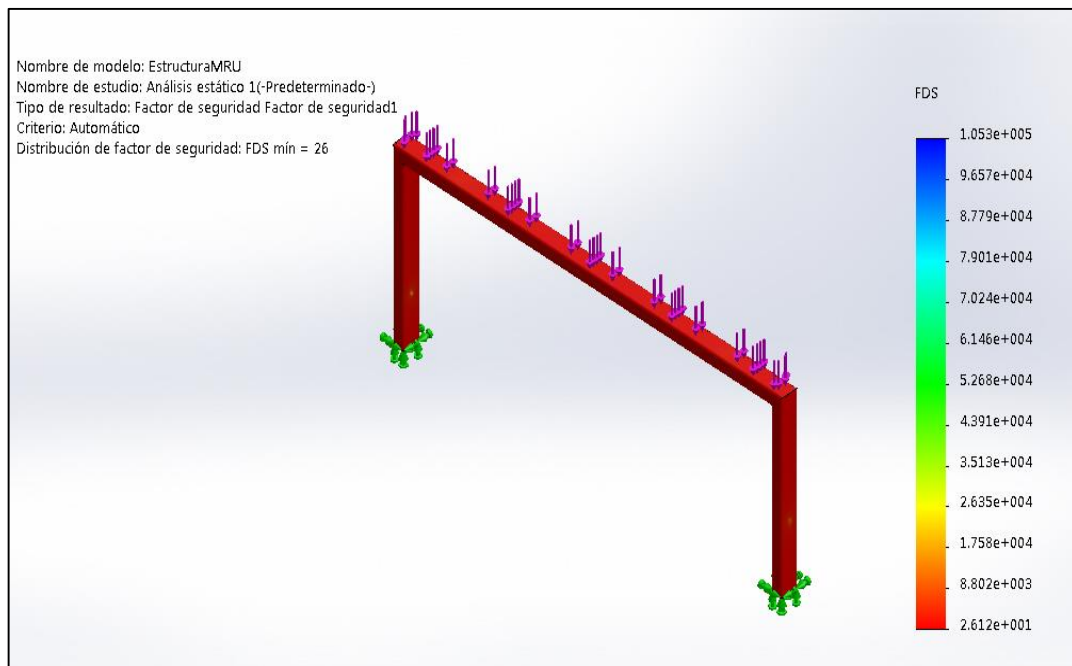
De la simulación CAD se obtuvo que con base a los parámetros especificados, el factor de seguridad más bajo encontrado en el diseño es de 26, como se puede observar en la Figura No. 3.69.



**Figura No. 3.67: Simulación del límite elástico de la estructura de soporte del cabezal porta-pistola**



**Figura No. 3.68: Simulación del desplazamiento elástico de la estructura de soporte del cabezal porta-pistola**



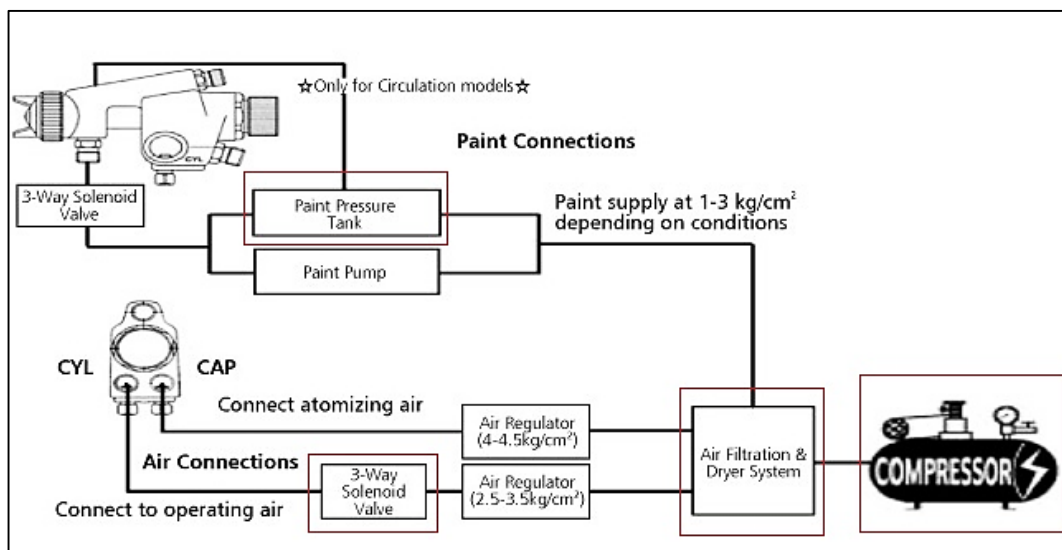
**Figura No. 3.69: Simulación del FS elástico de la estructura de soporte del cabezal porta-pistola**

#### 3.5.3.4. Diseño Neumático del Sistema de Pulverización de pintura

El sistema cuenta con 3 pistolas neumáticas que son las encargadas de pulverizar pintura automáticamente y un Magnetic Rodless Cylinder MRU que actúa como un cilindro neumático de doble efecto utilizado para el movimiento horizontal del cabezal porta-pistolas.

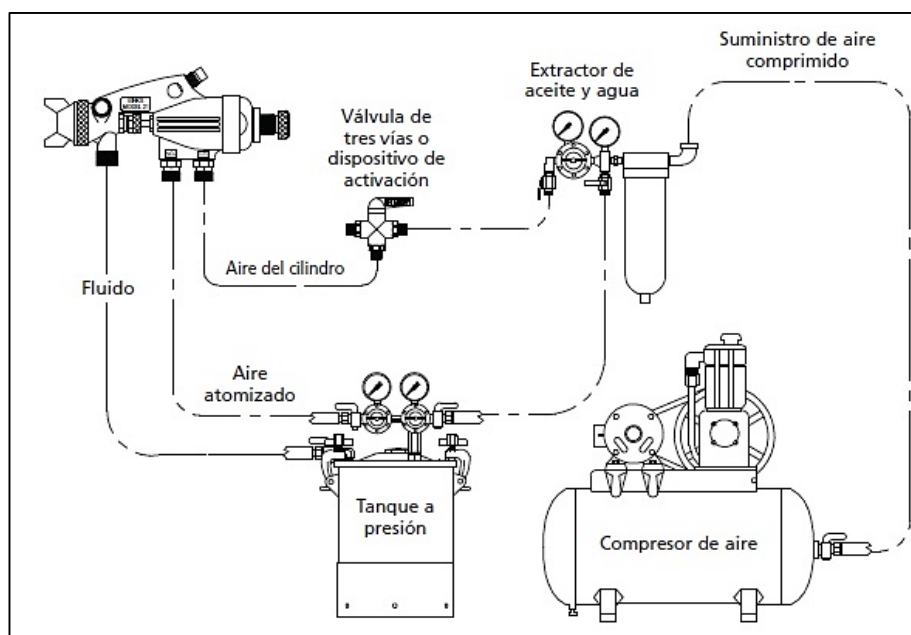
En la Figura No. 3.70 se puede observar un diagrama recomendado por el fabricante para la conexión de las pistolas marca Rich-Star, para nuestra aplicación se obvian ciertos elementos y se marcan los que se utilizan.

Nuestro sistema cuenta con un circuito neumático para el control de las pistolas pulverizadoras automáticas, que incluye los siguientes elementos como se muestra en la Figura No. 3.71, un compresor, una unidad de mantenimiento y filtro de aire, una electroválvula 3/2 por cada pistola y 3 tanques a presión de pintura uno para cada etapa, con esto evitamos tiempos muertos en la limpieza de los equipos al momento de cambiar de tipo o color de pintura.



**Figura No. 3.70: Esquema Conexión Neumática de Pistolas**

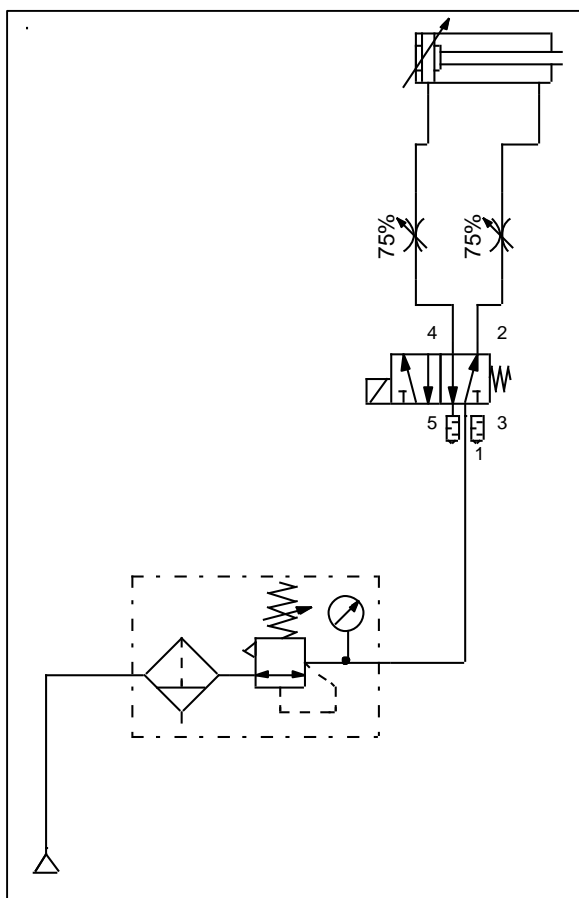
*Fuente: (Rich Star, 2012)*



**Figura No. 3.71: Elementos para la conexión de la pistola automática**

*Fuente: (BINKS, 2012)*

Para el cilindro doble efecto (MRU) se utiliza un filtro de aire, una electroválvula 5/2, y 2 reguladores de flujo para variar la velocidad de recorrido como se indica en el esquema de la Figura No. 3.73.



**Figura No. 3.72: Esquema Conexión Neumática del Cilindro MRU**

#### 3.5.3.4.1. Selección de Tanques a presión para pintura

El sistema cuenta con 3 pistolas neumáticas pulverizadoras para cada etapa de pintura por lo que es necesario 3 tanques a presión. El criterio de selección es en base al consumo de pintura por metro cuadrado, teniendo en cuenta que el requerimiento de velocidad máxima de pintado del sistema es de 10 m/min y el dato técnico del ancho de rocío de la pistola es de 300 mm tendremos que el promedio de consumo de pintura por capa para una lámina acanalada galvanizada de 1,10 m x 1,80 m será:

$$\text{Superficie lamina} = 1,10 \text{ m} \times 1,80 \text{ m} = 1,98 \text{ m}^2$$

En cada pasada se cubre una superficie de:

$$\text{Superficie cubierta por pasa} = 1,10 \text{ m} \times 0,3 \text{ m} = 0,33 \text{ m}^2$$

Para cubrir la superficie de la lámina se necesita 6 pasadas de la pistola entre ida y retorno, en cada pasada se consume 20 ml aproximadamente esto depende mucho del rendimiento de cada pintura y de las configuraciones de las pistolas, para lo cual más adelante se hace un análisis real del consumo de pintura ya con las pruebas pertinentes del equipo, para esta selección entonces asumimos que el consumo por lamina es de 120 ml.

Esto quiere decir que para una producción promedio de 450 láminas de ese tamaño o a su vez un promedio de 891 metros cuadrados por día, se necesitaría un tanque de 54 litros, por su tamaño y al no existir un modelo de estas características en el mercado se selecciona un tanque de 10 litros de capacidad con lo cual se requerirá de 6 para recargar los tanques durante la producción diaria.

Uno de los factores de pérdidas es la eficiencia de las pistolas pulverizadoras que según datos técnicos del fabricante es del 80%.

Se seleccionan 3 tanques de 10 litros marca Sumake como se observa en la Figura No. 3.73 y sus características técnicas se muestran en la Tabla No. 3.15.



**Figura No. 3.73: Tanque a presión para pintura Sumake**

Tabla No. 3.15:

## Características técnicas del tanque a presión para pintura

<b>Modelo</b>	AT-10E
<b>Capacidad</b>	10L
<b>Agitador</b>	No
<b>Peso Neto</b>	11.68 kgs
<b>Peso Bruto</b>	12.68kgs
<b>Dimensiones LxWxH</b>	305x305x480 mm3

*Fuente: (SUMAKE, 2014)*

## 3.5.3.4.2. Selección de Electroválvulas

Las electroválvulas son las encargadas de controlar la dirección de flujo de aire hacia el pistón MRU y las pistolas de pulverización, mediante una señal eléctrica.

Para el control del pistón neumático MRU se selecciona una electroválvula 5/2 monoestable con retorno por muelle que opera a 24VDC, como se observa en la Figura No. 3.74.



Figura No. 3.74: Electroválvula 5/2 Chanto

Para el control de las pistolas se selecciona 3 electroválvulas 3/2 monoestable con retorno por muelle que opera a 24VDC, como se observa en la Figura No. 3.75.



**Figura No. 3.75: Electroválvula 3/2 Chanto**

#### **3.5.3.4.3. Selección de las unidades de mantenimiento**

Es necesario dimensionar la unidad de mantenimiento para lo cual nos basamos en la norma DIN ISO 8573-1; donde indica las clases de calidad de aire según la aplicación dada.

Según la norma de la Figura No. 4.76 se necesitara de un filtro de aire que elimine las impurezas del aire hasta partículas de 40  $\mu\text{m}$  para el cilindro neumático MRU y otro filtro que elimine hasta partículas de 1  $\mu\text{m}$  para el aire de pintado que incluye las pistolas, las electroválvulas y los tanques a presión contenedores de pintura, además se necesita para este circuito de un filtro que separe las partículas de aceite provenientes del compresor hasta que el residuo sea de 0,1  $\text{mg}/\text{m}^3$  como máximo para que no contamine la pintura.

Los filtros a seleccionar también se necesitan que tengan una regulación de presión incorporada al cuerpo de elemento.



Aplicaciones	Cuerpos sólidos ( $\mu\text{m}$ )	Punto de condensación del agua ( $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ )	Contenido máx. de aceite ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	Clase de filtración recomendada
Minería	40	–	25	40 $\mu\text{m}$
Lavandería	40	10	5	40 $\mu\text{m}$
Máquinas soldadoras	40	10	25	40 $\mu\text{m}$
Máquinas herramienta	40	3	25	40 $\mu\text{m}$
Cilindros neumáticos	40	3	25	40 $\mu\text{m}$
Válvulas neumáticas	40 o bien 50	3	25	40 o bien 50 $\mu\text{m}$
Máquinas de embalaje	40	3	1	5 $\mu\text{m}$ – 1 $\mu\text{m}$
Reguladores finos de presión	5	3	1	5 $\mu\text{m}$ – 1 $\mu\text{m}$
Aire de medición	1	3	1	5 $\mu\text{m}$ – 1 $\mu\text{m}$
Aire en almacén	1	-20	1	5 $\mu\text{m}$ – 1 $\mu\text{m}$
Aire para pintura	1	3	0,1	5 $\mu\text{m}$ – 1 $\mu\text{m}$
Técnica de detectores	1	-20 o bien -40	0,1	5 $\mu\text{m}$ – 1 $\mu\text{m}$
Aire puro para respirar	0,01	–	–	-0.01 $\mu\text{m}$

Clase de calidad del aire (DIN ISO 8573-1)	Tamaño máx. de las partículas en $\mu\text{m}$	Densidad máxima de las partículas en $\text{mg}/\text{m}^3$ (ISO 554)	Punto máx. de condensación bajo presión en $^{\circ}\text{C}$	Contenido máx. de aceite residual en $\text{mg}/\text{m}^3$ (ISO 554)
1	0,1	0,1	-70	0,01
2	1	1	-40	0,1
3	5	5	-20	1
4	15	8	3	5
5	40	10	7	25
6	–	–	10	–
7	–	–	sin definir	–

**Figura No. 3.76: Calidad de aire según la DIN ISO 8573-1**

*Fuente: (Itescam, 2002)*

Se seleccionó los filtros reguladores con las características mencionadas del catálogo Parker necesarios para limpiar el aire de trabajo de los actuadores y elementos de control final, además los mismos equipos nos regulan la salida de presión de aire que va desde el compresor hasta la utilización.

Como se puede ver en las Figuras No. 3.77 es el filtro de aire/regulador que se va a utilizar para el cilindro MRU y en la Figuras No. 3.78 tenemos el filtro de aire y aceite/regular incorporados en un mismo cuerpo que va a ser utilizado para el circuito neumático de las pistolas y tanques contenedores de pintura logrando así la menor contaminación del producto y el correcto funcionamiento de los equipos.



**Figura No. 3.77: Filtro/regulador de aire Parker para el MRU**



**Figura No. 3.78: Filtro de aire y aceite/regulador Parker para las pistolas**

### 3.5.3.4.4. Dimensionamiento del compresor

El cálculo del consumo del aire en cada uno de los componentes neumáticos del sistema es muy importante para determinar la capacidad del compresor necesario para abastecer la demanda del sistema.

Para el cálculo del consumo de aire del cilindro neumático MRU presente en el sistema automático de pintura se emplea la siguiente Ecuación 3.39:

$$Q = (\pi/4) \times d^2 \times c \times n \times P \times (N \times 10^{-6})$$

(Ecuación 3.39)

Dónde:

Q=Consumo de aire [NL/min]

d=Diámetro del cilindro [mm]

c=Carrera del cilindro [mm]

n=Numero de ciclos completos por minuto

P=Presión relativa de trabajo +1 bar

N=Numero de efectos del cilindro (N=1 simple efecto; N=2 doble efecto)

$$Q_{MRU} = (\pi/4) \times 32^2 \times 1200 \times 12 \times 7 \times (2 \times 10^{-6})$$

$$Q_{MRU} = 162,136 \text{ NL/min}$$

Según el catálogo técnico Rich Star el consumo de aire máximo de una pistola automática **S-710A-02P** es de 300 ml/min, entonces:

$$Q_{PA} = 300 \text{ ml/min} = 2,2 \text{ NL/min}$$

Para las 3 pistolas tenemos que es consumo de aire es:

$$Q_{3PA} = 3 \times 2,2 \frac{\text{NL}}{\text{min}} = 6,6 \text{ NL/min}$$

Entonces el consumo total será calculado con la siguiente Ecuación 3.40:

$$Q_T = (Q_{MRU} + Q_{3PA}) + 20\%$$

(Ecuación 3.40)

En donde se considera un 20% mas como factor de rendimiento y con lo cual se da la posibilidad de instalar más pistolas posteriormente.

$$Q_T = (162,13 + 6,6) + 20\%$$

$$Q_T = 202,48 \text{ NI/min} = 7,15 \text{ CFM}$$

Como el receptor de aire debe ser de al menos 5 galones por [CFM] para obtener resultados óptimos se tiene que la capacidad requerida para el compresor es de 35,75[Gal] o 132, 28[l].

El compresor con el que cuenta la empresa tiene una capacidad de 300 [l] con una potencia de 5 HP sus demás características se indican en la Tabla No. 3.16 de la ficha técnica de compresores Porten.

**Tabla No. 3.16:**

**Características técnicas del compresor**

<b>CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL COMPRESOR</b>	
<b>Marca</b>	Porten
<b>Modelo</b>	PCO-5300
<b>Caudal</b>	21,4 cfm @ 40 psi 18,8 cfm @ 90 psi
<b>Motor</b>	5 HP-3,7 kw
<b>Voltaje</b>	220 V-60 Hz (Monofásico)
<b>Revoluciones</b>	1740 rpm
<b>Tanque de aire</b>	300 L-79,2 gal
<b>Transmisión</b>	Por banda
<b>Dimensiones</b>	154x61x115 cm

*Fuente: (Porten, 2015)*

### 3.5.4. DISEÑO DEL SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO

#### 3.5.4.1. Análisis de las necesidades de la etapa

- La transferencia de calor debe acoplarse a una velocidad variable de transportador de rodillos entre 2~10 m/min de avance de las láminas galvanizadas y la velocidad de pintado que está dada según la Tabla 3.11 por la velocidad del pistón MRU en un rango entre 50~500 mm/s.
- No sobrepasar la temperatura máxima de 40 °C para la superficie de pintado que es la máxima recomendada en las especificaciones técnicas de las pinturas.
- Mantener uniforme la temperatura en las láminas a ser pintadas.

#### 3.5.4.2. Longitudes de ondas infrarrojas

Los sistemas de infrarrojos emiten diferentes tipos de onda: larga, media y corta. La diferencia fundamental entre ellos es la profundidad de penetración a través de la película de pintura, siendo la onda corta la que alcanza mayor penetración. Las ondas cortas son las más utilizadas en estos equipos, ya que reduce tiempo de secado y consumo energético.

	ONDA CORTA	CABINA HORNO	SECADO AL AIRE
MASILLA	8 - 10 min.	10 - 20 min.	30 - 60 min.
IMPRIMACIÓN APAREJO	8 - 12 min.	30 - 45 min.	240 min.
COLOR MONOCAPA	8 - 10 min.	30 - 45 min.	240 min.
COLOR H.S.	8 - 10 min.	30 - 35 min.	210 min.
BARNIZ	8 - 12 min.	30 - 45 min.	240 min.

tiempos aproximados

**Figura No. 3.79: Tiempos de secado**

*Fuente: (Sagola, 2013)*

### 3.5.4.3. Selección del equipo infrarrojo

Teniendo en cuenta que nuestro sistema no pretende secar las capas de pintura y solo va a realizar un precalentamiento de la lámina galvanizada podemos observar que el tiempo de secado promedio es de 9 min para distintos tipos de pinturas, por lo que se puede asumir que si la velocidad mínima de transporte es de 2 m/min la temperatura de la lámina no sobrepasa los 40 °C y además calienta el material desde adentro por lo que al llegar a la etapa de pintado la temperatura superficial será homogénea.

Las láminas estándar de mayor producción son de 1,1 x 1,80 m de este modo seleccionamos un equipo que cubra esta superficie como se muestra en la Figura No. 3.80 que corresponde a un equipo infrarrojo de la marca Sagola, el cual cubre una superficie de 1,40 m x 2 m /2,30 m.



**Figura No. 3.80: Equipo de secado por luz infrarroja**

*Fuente: (Sagola, 2013)*

Este equipo tiene las siguientes características:

- Freno en ruedas traseras
- Compensación de gravedad mediante resorte de gas con bloqueo
- Brazo articulado con pantógrafo oculto
- Encendido de pantallas de forma independiente
- Cubre cualquier parte de la carrocería
- Mayor superficie de secado
- Rendimiento 96,8%
- Control electrónico
- Sensor de distancia

**Tabla No. 3.17:**

**Especificaciones técnicas del equipo infrarrojo**

<b>EQUIPO INFRARROJO</b>	
<b>Marca</b>	SAGOLA
<b>Modelo</b>	PROFESSIONAL CAR 6
<b>Voltaje</b>	3~ 380 VAC/ 220 V opcional
<b>Potencia máx.</b>	6600 W
<b>Distancia mínima de trabajo</b>	50 cm
<b>Superficie de secado</b>	2 m x 1,40 m

*Fuente: (Sagola, 2013)*

Establecidas las características del equipo observamos que este también puede servir para el secado de todas las capas de pintura por su gran flexibilidad y su independencia del resto del sistema, ya que posee un control autónomo y depende de la distancia y tiempo programable de exposición de la luz infrarroja sobre las láminas, reduciendo considerablemente los tiempos de secado, es por estos motivos que la empresa acepta la selección de este equipo y más adelante realizará la adquisición e implementación del sistema de luz infrarroja.

### 3.5.5. DISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y DE CONTROL

#### 3.5.5.1. Selección del PLC y la HMI

Para realizar la selección del PLC, se requiere saber el número de entradas y salidas necesarias para el sistema, las cuales se las describe en la Tabla No. 3.18.

**Tabla No. 3.18**

#### Entradas y salidas necesarias para el PLC

<b>ENTRADAS</b>	Botón de Inicio que permita empezar el funcionamiento de todo el sistema.
	Botón de Paro que permita detener el funcionamiento de todo el sistema.
	Botón de Paro de Emergencia que realiza un paro instantáneo debido a cualquier circunstancia.
	Detectar la presencia de las láminas antes de ser pintadas.
	Detectar la posición inicial del pistón MRU.
<b>SALIDAS</b>	Detectar la posición final del pistón MRU.
	Salida para controlar el arranque del motor del transportador de rodillos.
	Salida para controlar pausa en marcha del motor del transportador de rodillos.
	Salida para controlar electroválvula del pistón MRU.
	Salida para controlar electroválvula de la pistola pulverizadora del wash primer.
Salida para controlar electroválvula de la pistola pulverizadora del fondo.	
Salida para controlar electroválvula de la pistola pulverizadora del color.	



Partiendo de la Tabla No. 3.18, se observa que se requieren de 6 entradas y 6 salidas, 4 de las salidas deben ser de relé para la carga del solenoide de las electroválvulas y las 2 restantes pueden ser de transistor.

Con estos datos se procede a la selección del PLC capaz de cubrir las necesidades de la aplicación, según la tabla del catálogo Xinje mostrada en el Anexo F se escoge el PLC de la serie XP-18RT, con 10 entradas digitales, 4 salidas de transistores y 4 salidas de relé para nos servirá para el control de las electroválvulas directamente con una señal de 24VDC.

Además cuenta con una pantalla HMI integrada para que el usuario pueda tener un control de entradas/salidas del PLC. En la Figura No. 3.81, se observa el PLC con la pantalla HMI seleccionado y en la Tabla No. 3.19 se puede ver sus características técnicas.



**Figura No. 3.81: PLC+HMI incorporada seleccionado**

Tabla No. 3.19:

## Especificaciones técnicas de PLC

PLC HMI INTEGRADO	
<b>Marca</b>	Xinje
<b>Modelo</b>	XP-18RT
<b>Voltaje de entrada</b>	DC12V~DC24V
<b>Entradas</b>	10 DI
<b>Salidas</b>	4 Rele-4 Transistor
<b>HMI</b>	Kelly/Blue LCD 192*64
<b>Registro</b>	64KB Flash ROM, 4KB SRAM

*Fuente: (Xinje Electronic Co.,Ltd, 2008)*

## 3.5.5.2. Selección de los sensores

Se necesita de un sensor inductivo para detectar la presencia de la lámina galvanizada a ser pintada, para lo cual se selecciona uno de cabeza pronunciada NPN con rango de detección de 8 mm diámetro 18 mm, las características técnicas se las describe en la Tabla No. 3.20.



**Figura No. 3.82: Sensor inductivo cabeza pronunciada**

*Fuente: (Hanyoung Nux Co., Ltd, 2015)*

Tabla No. 3.20:

## Especificaciones técnicas del sensor detección de láminas

SENSORES INDUCTIVO	
<b>Marca</b>	HanYoung
<b>Modelo</b>	UP18RD-5NA
<b>Tipo</b>	Pronunciado
<b>Voltaje de entrada</b>	10-30 VDC
<b>Diámetro</b>	18 mm
<b>Alcance</b>	8 mm
<b>Señal de salida</b>	NPN-NA
<b>Respuesta en frecuencia</b>	800 Hz
<b>Protección</b>	IP67

*Fuente: (Hanyoung Nux Co., Ltd, 2015)*

También se necesitan dos sensores inductivos de posición inicial y final del cilindro MRU de cabeza al ras NPN con rango de detección de 5mm diámetro 18 mm que encajan en los soportes del cilindro, las características técnicas se las describe en la Tabla No. 3.21.



**Figura No. 3.83: Sensores inductivo cabeza rasante**

*Fuente: (Hanyoung Nux Co., Ltd, 2015)*

**Tabla No. 3.21:****Especificaciones técnicas de los sensores del cilindro MRU**

<b>SENSORES INDUCTIVO</b>	
<b>Marca</b>	HanYoung
<b>Modelo</b>	UP18RM-5NA
<b>Tipo</b>	Rasante
<b>Voltaje de entrada</b>	10-30 VDC
<b>Diámetro</b>	18 mm
<b>Alcance</b>	5 mm
<b>Señal de salida</b>	NPN-NA
<b>Respuesta en frecuencia</b>	800 Hz
<b>Protección</b>	IP67

*Fuente: (Hanyoung Nux Co., Ltd, 2015)*

**3.5.5.3. Selección de la fuente DC**

El PLC y su HMI mas los sensores y electroválvulas operan con voltaje de 24VDC por lo que es necesario la selección de una fuente que alimente a todos los componentes teniendo en cuenta la corriente nominal de cada uno de ellos como se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla No. 3.22:****Corriente nominal de la fuente**

<b>Equipo</b>	<b>Corriente nominal</b>	<b>cantidad</b>	<b>Consumo total</b>
<b>PLC+HMI</b>	500 mA	1	500 mA
<b>Electroválvulas</b>	100 mA	4	400 mA
<b>Sensor inductivo</b>	6 mA	3	18 mA
		<b>TOTAL</b>	<b>918 mA</b>

Por lo cual seleccionados una fuente Logo de Siemens de 1,3 A que es suficiente para alimentar a todos los elementos y además permite la conexión de futuros componentes.



**Figura No. 3.84: Fuente DC Logo**

*Fuente: (Siemens AG, 2015)*

**Tabla No. 3.23:**

**Especificaciones técnicas de la fuente DC**

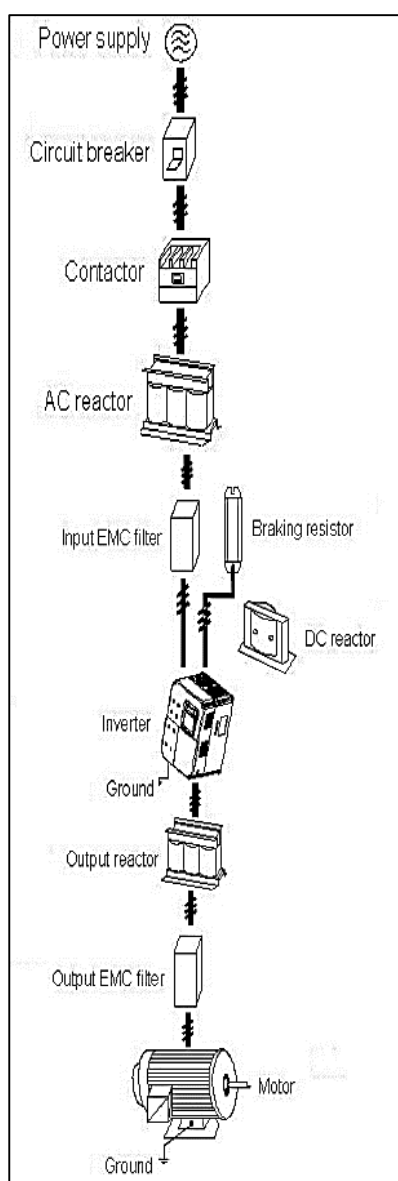
<b>FUENTE DC</b>	
<b>Marca</b>	Siemens
<b>Modelo</b>	6EP1331-1SH03
<b>Tipo</b>	LOGO!POWER
<b>Voltaje de entrada</b>	AC 100-240 V (DC 110-300 V)
<b>Voltaje de salida</b>	DC 24 V/1,3 A

*Fuente: (Siemens AG, 2015)*

### 3.5.5.4. Esquema de conexiones eléctricas

En el sistema eléctrico existe: un motor trifásico de corriente alterna con su respectivo variador de frecuencia que permite el movimiento del transportador de rodillos y el PLC con su fuente de alimentación de 24V.

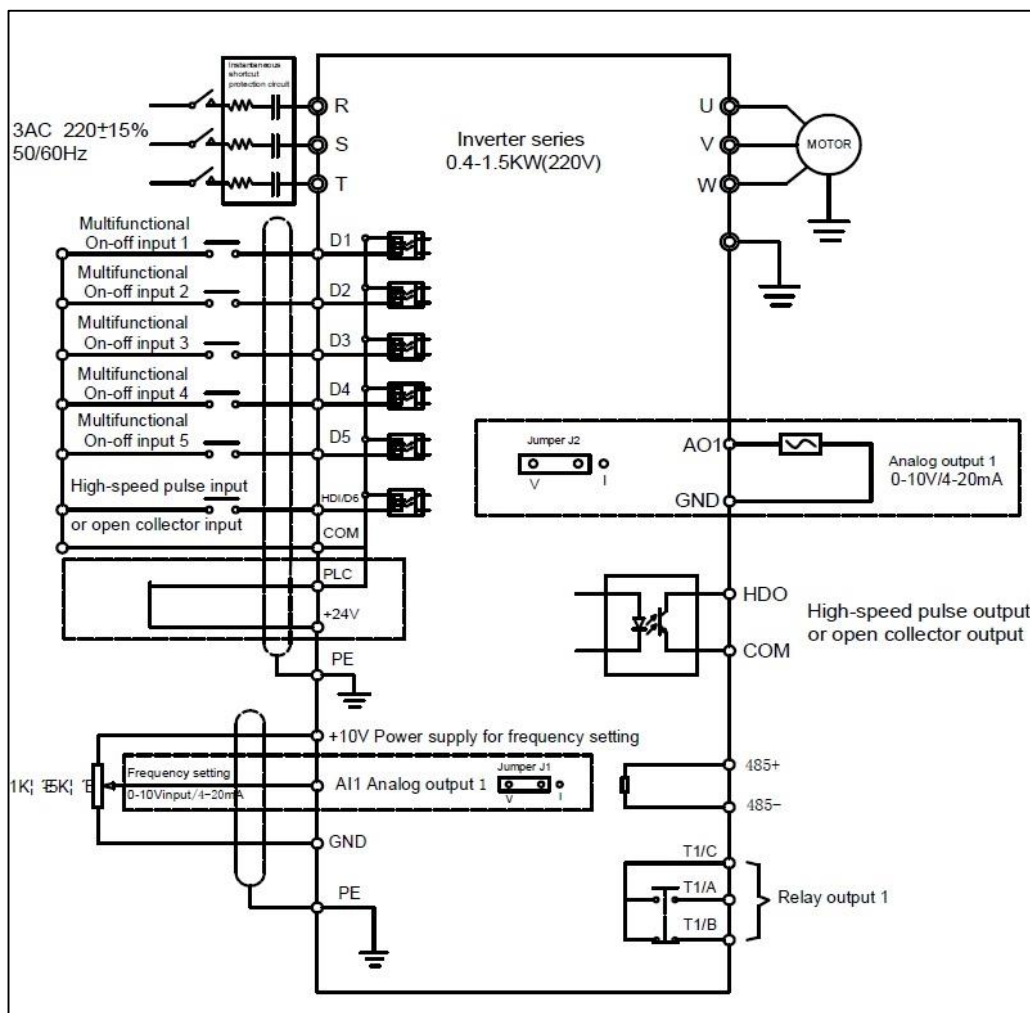
En la Figura No. 3.85 podemos observar un diagrama recomendado por el fabricante de la conexión de periféricos para el correcto funcionamiento del variador de frecuencia.



**Figura No. 3.85: Diagrama de conexión de los dispositivos periféricos**

Fuente: (Micno, 2013)

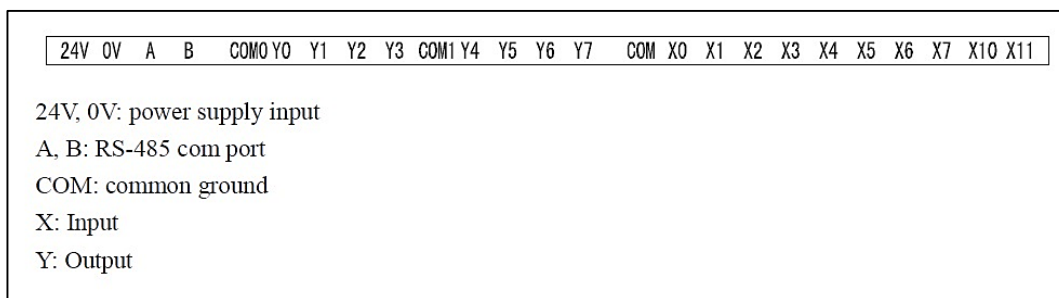
El diagrama de cableado del variador de frecuencia hacia sus puertos se describe completamente en la Figura No. 3.86 y las funciones de programación se pueden ver en el catálogo técnico Micno KE300.



**Figura No. 3.86: Diagrama de cableado hacia los puertos del variador**

Fuente: (Micno, 2013)

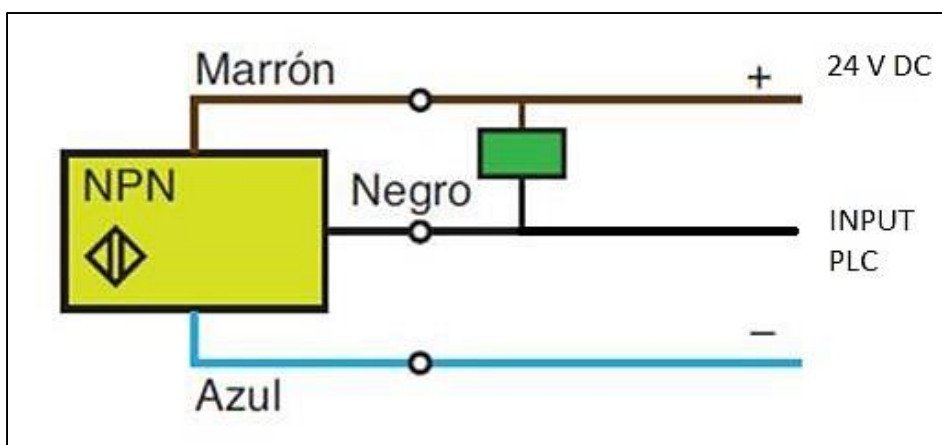
El PLC tiene 2 grupos de salidas y uno de entradas, cada uno está asociado con su COM respectivo, el primero son salidas tipo transistor que maneja voltajes en DC, mientras que el segundo es de tipo relé, los de tipo relé tiene la opción de conectar tanto voltajes en DC como en AC (110V/220V) facilitando controlar el funcionamiento del circuito de potencia, los grupos de salidas y entradas del PLC se muestran en la Figura No. 3.87.



**Figura No. 3.87: Puertos I/O del PLC Xinje XP-18RT**

*Fuente: (Xinje Electronic Co.,Ltd, 2008)*

Los sensores inductivos NPN de tres hilos se conectan como se indican en la Figura No. 3.88 teniendo en cuenta los colores de cada hilo.



**Figura No. 3.88: Diagrama de conexión de sensores inductivos NPN**

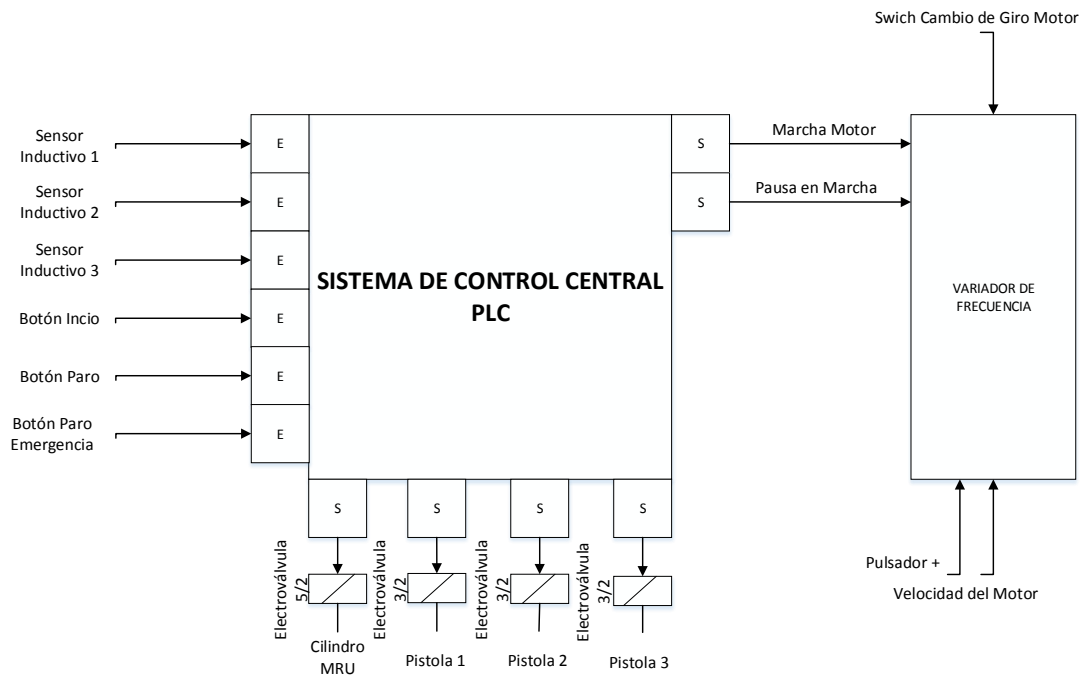
*Fuente: (Automatismo Industrial, 2013)*

El esquema completo de las instalaciones y conexiones eléctricas del sistema se puede ver en plano eléctrico No. CEE-01 del Anexo A.

### 3.5.5.5. Descripción del sistema de control

En el sistema de control interactúan un PLC, tres sensores inductivos, un motor AC trifásico con un variador de frecuencia y cuatro electroválvulas como se puede observar en el diagrama de la Figura No. 3.89.





**Figura No. 3.89: Diagrama de Control**

### 3.5.5.6. Análisis de los parámetros y necesidades de control

Parámetros:

- Distancia de detección de los sensores.
- Velocidad de avance del transportador de rodillos.
- Velocidad de pintado.

Necesidades:

- El sensor debe detectar únicamente la presencia de láminas galvanizadas.
- EL transportador de rodillos debe tener una velocidad tal que permita pausas para realizar la pulverización de pintura sobre las láminas.
- Las láminas pintadas deben al menos triplicar la producción manual.

El circuito de conexiones del sistema de control se pueden ver el Anexo A.

### 3.5.5.7. Descripción de las variables para la programación del PLC

Las variables utilizadas en la programación realizada en el PLC para el control, se muestran en la Tabla No. 3.24.

**Tabla No. 3.24:****Variables de Control**

<b>VARIABLES DE CONTROL</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
Botón Inicio	Inicia el funcionamiento del proceso de producción.
Botón Parar	Para el funcionamiento del proceso de producción.
Botón Paro de Emergencia	Realiza un paro de emergencia del proceso de producción.
Swich reversa del motor	Permite controlar el cambio de giro del motor del transportador.
Primer Sensor	Detección de presencia de las láminas en la etapa de pintado.
Segundo Sensor	Detección la posición inicial del cilindro MRU del cabezal porta-pistolas.
Tercer Sensor	Detección la posición final del cilindro MRU del cabezal porta-pistolas.
Señal de inicio del motor	Determina el arranque del motor AC en pausa sobre la marcha.
Señal de pausa del motor	Determina el tiempo que permanece el motor AC en pausa sobre la marcha.
Primera Electroválvula	Para el movimiento lineal del pistón neumático MRU
Segunda Electroválvula	Para la apertura/cierre de la primera pistola de pulverización de pintura
Tercera Electroválvula	Para la apertura/cierre de la segunda pistola de pulverización de pintura
Cuarta Electroválvula	Para la apertura/cierre de la tercera pistola de pulverización de pintura

### 3.5.5.8. Diagrama de flujo para el control del transportador de rodillos

En la Figura No. 3.90 se indica el diagrama de flujo para el control de la banda transportadora.

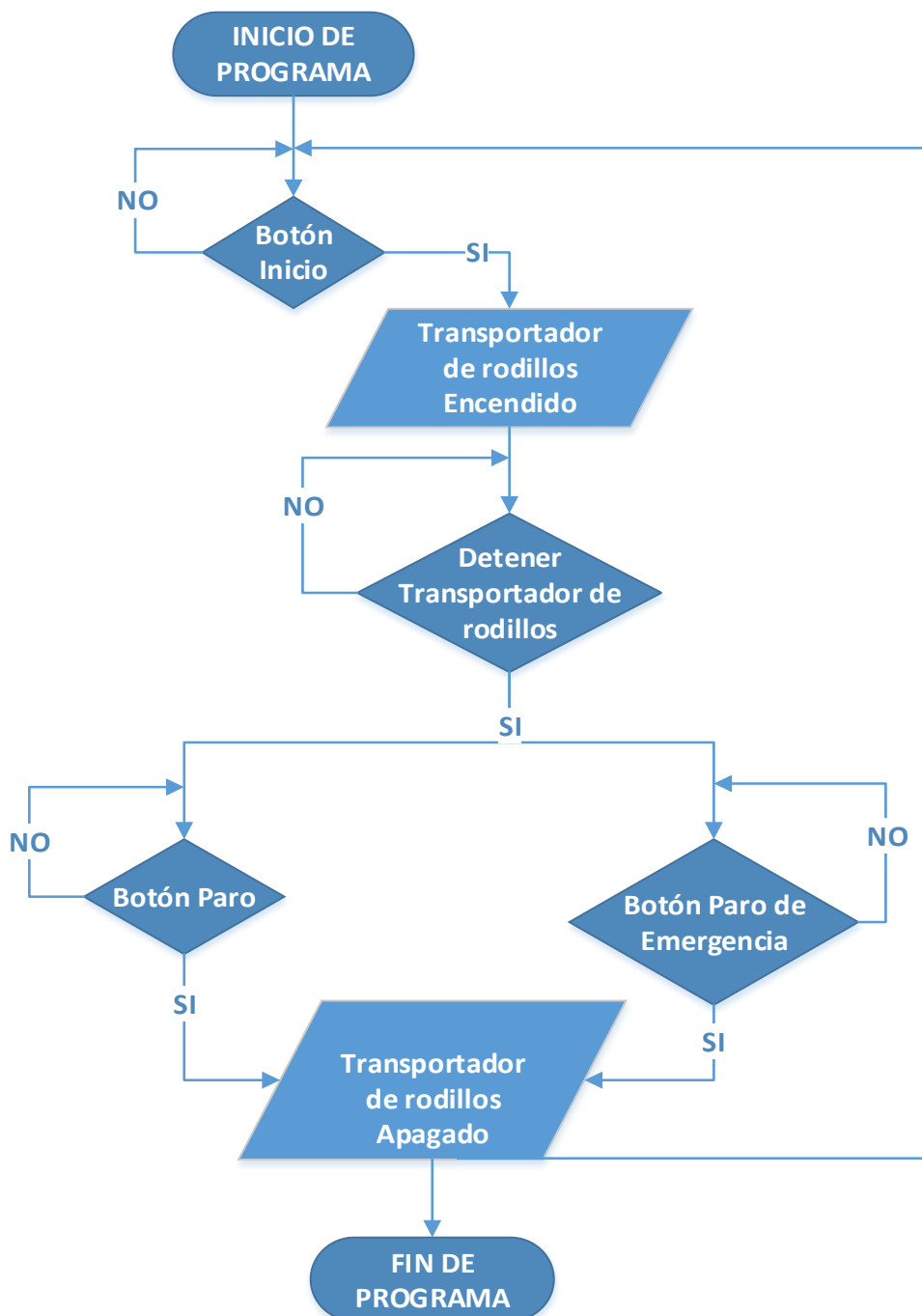


Figura No. 3.90: Diagrama de flujo de la banda transportadora

### 3.5.5.9. Diagrama de flujo para el control del cilindro neumático MRU

En la Figura No. 3.91 se indica el diagrama de flujo para el control del movimiento lineal del cabezal de pintura mediante el cilindro neumático MRU.

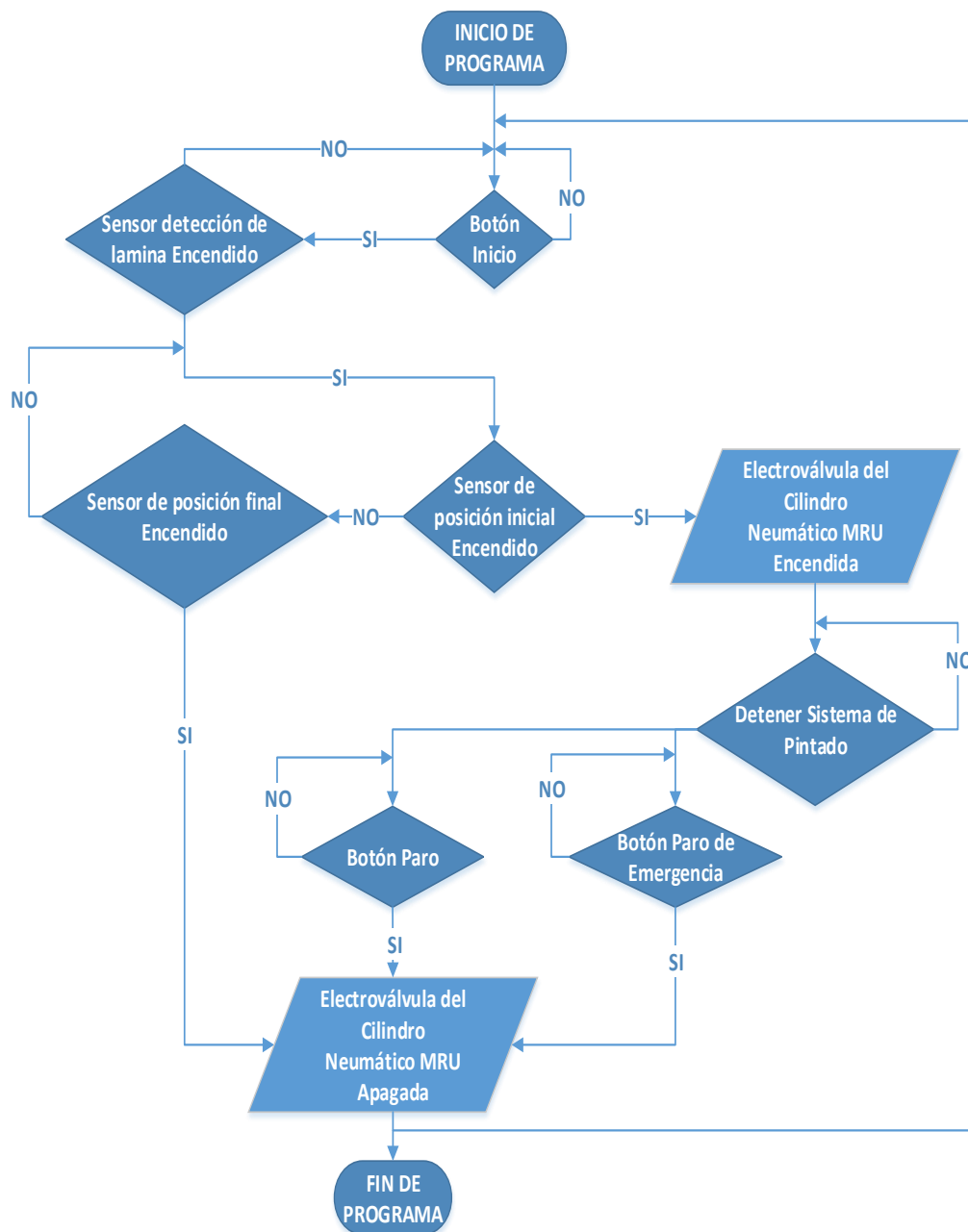


Figura No. 3.91: Diagrama de flujo del control del cilindro MRU

### 3.5.5.10. Diagrama de flujo para el control del sistema de pulverización

En la Figura No. 3.92 se indica el diagrama de flujo para el control del funcionamiento de las pistolas de pulverización de pintura.

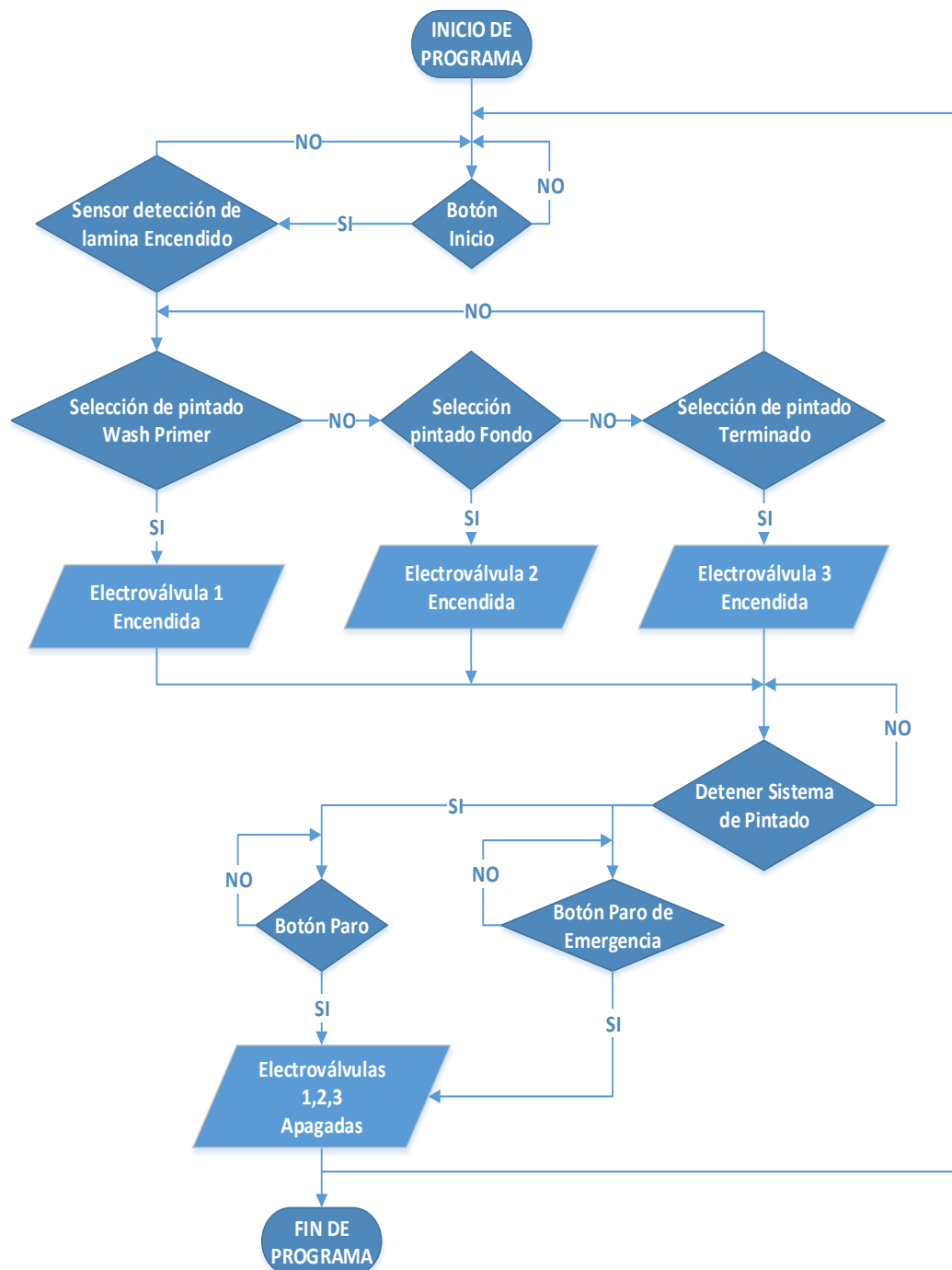


Figura No. 3.92: Diagrama de flujo del control de las pistolas de pulverización





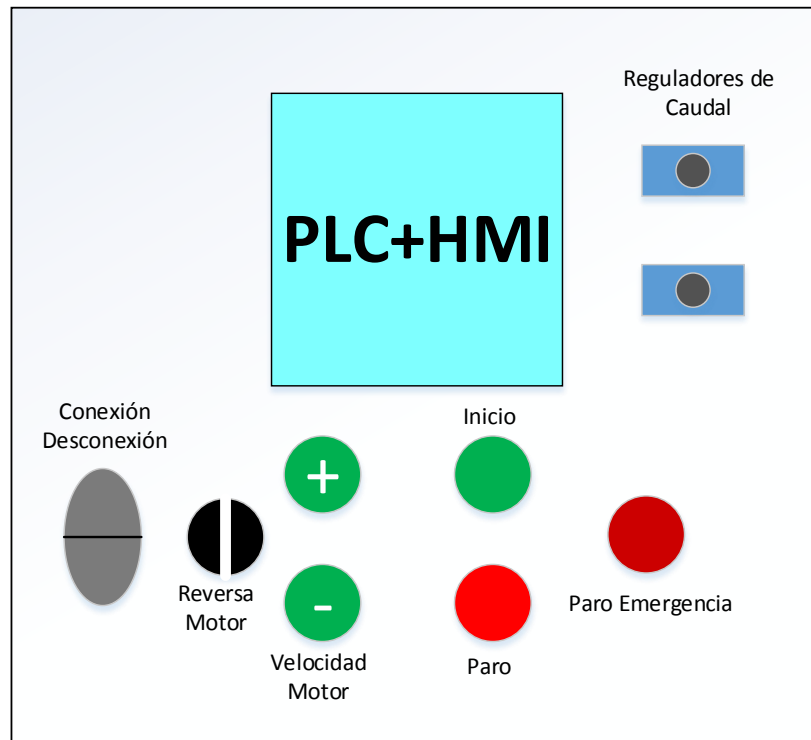
**Figura No. 3.94: Entorno de programación de la HMI del PLC Xinje**

#### 3.5.5.12. Diseño de la caja de control

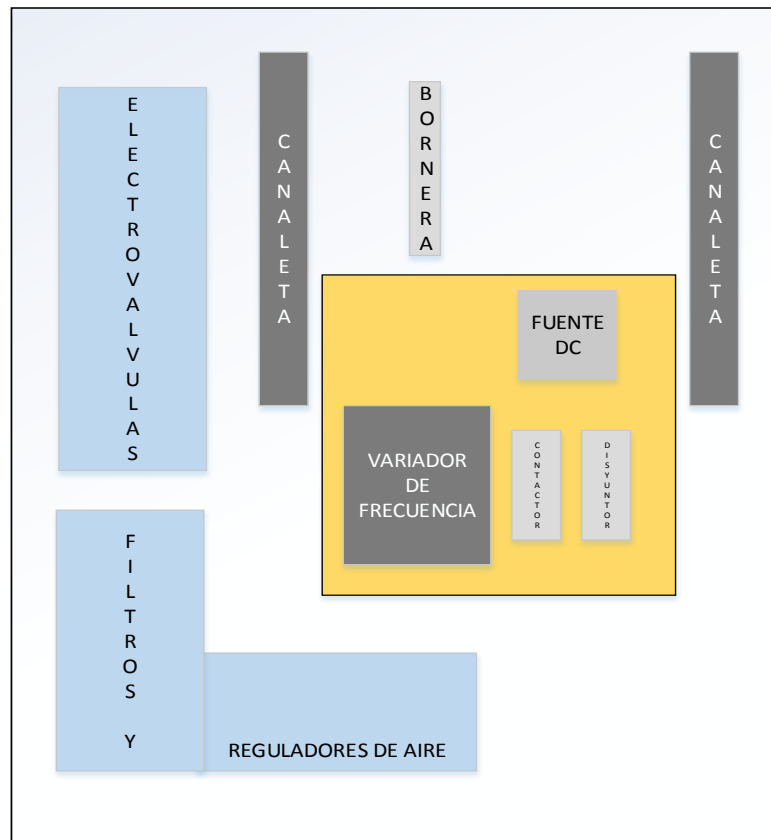
En el parte interior del armario se encuentran todos los elementos tanto del circuito de potencia, circuito de control como son: contactores, borneras, PLC, fuente de 24DC, variador de frecuencia, y del circuito neumático las electroválvulas y filtros y reguladores de aire. En la parte superior se encuentran todos los elementos de maniobra como son los pulsadores, swich, reguladores de caudal del pistón neumático y el HMI del PLC.

El panel de potencia posee un doble fondo donde se ancla cada sus elementos por medio de tornillos y riel DIN, el cableado se distribuye por medio de canaletas agujereadas, este doble fondo se fija a la placa perforada que posee el fondo del armario y de la misma forma se fijan los elementos neumáticos.

La distribución de los elementos de maniobra y de visualización se puede observan en la Figura No. 3.95; en la Figura No. 3.96 se observa las zonas que conforman el armario y la distribución y posicionamiento de cada uno de los elementos eléctricos de potencia y control, así como los elementos neumáticos.



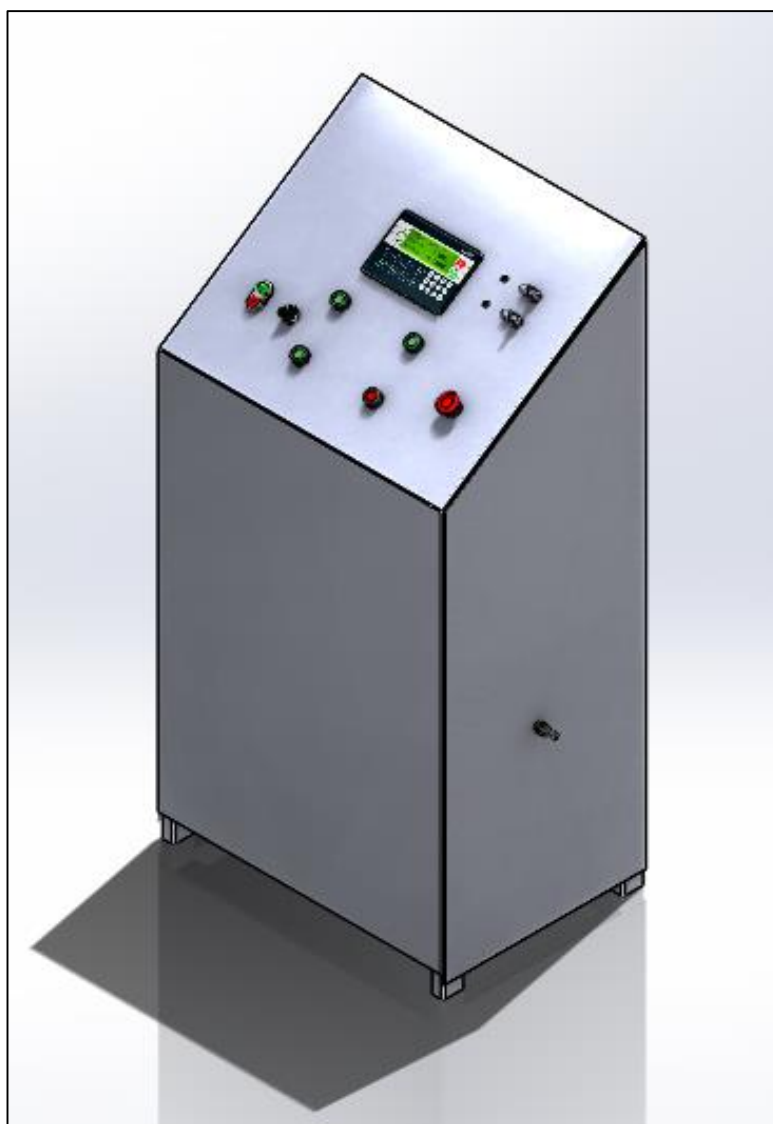
**Figura No. 3.95: Distribución Frontal del Armario**



**Figura No. 3.96: Distribución Interna del Armario**



Para dimensionar el armario y tener una distribución adecuada se toma en cuenta los diagramas antes mencionados junto a todas las medidas de los elementos, tanto en alto y ancho como también la profundidad, con esto se obtiene las medidas internas de 800x500x300 mm y de la parte superior 600x500 mm con un ángulo de inclinación de 30° para la visualización correcta de la pantalla HMI como se observa en la Figura No. 3.97 el diseño terminado del armario.



**Figura No. 3.97: Caja de control diseñada**

## CAPÍTULO 4

### CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

#### 4.1 Generación de planos mecánicos, eléctricos y de control.

Los planos de las partes mecánicas, eléctricas y de control del sistema de pintado automático de láminas galvanizadas se encuentran en el Anexos A.

La construcción de cada uno de los componentes que conforman el sistema automático de pintado se realizó de acuerdo a las especificaciones técnicas de los planos generados.

#### 4.2 Montaje de la Estructura del transportador de rodillos

La estructura del transportador de rodillos cuenta con 7 perfiles bases espaciados entre si 2 m acoplados mediante los 4 ángulos L y para dar mayor firmeza y estabilidad los 4 perfiles rectangulares sujetos mediante pernos allen y tuercas de seguridad M10 como se observa en la Figura No. 4.1.



**Figura No. 4.1: Montaje de la estructura**

La estructura descansa sobre 14 apoyos fijados a las perfiles bases y están compuestos de pernos hexagonales y tuercas M16 que sirve para la regulación y nivelación de altura de la máquina como se observa en la Figura No. 4.2.



**Figura No. 4.2: Apoyos regulables de la estructura**

### **4.3 Montaje de las chumaceras**

El montaje de las chumaceras se realiza sobre los ángulos L de la estructura del transportador espaciadas desde sus centros una distancia de 746 mm y están sujetas mediante pernos allen y tuercas de seguridad M12, ver la Figura No. 4.3.

Primeramente se montan 16 chumaceras UCP-201 de eje interno 12 mm, en la parte derecha de la estructura las cuales sirven de referencia para centrar los rodillos y las cadenas; posteriormente al insertar los rodillos y cadenas se procede a montar las otras 16 chumaceras UCP-201 de eje interno 12 mm al lado izquierdo.



**Figura No. 4.3: Montaje de las chumaceras**

#### 4.4 Montaje de los rodillos del transportador

Los rodillos deben estar alineados respecto a las chumaceras y a sus piñones de los 2 lados para un correcto montaje de los tramos de las cadenas, en total se montan 16 rodillos a lo largo de la estructura como se observa en la Figura No. 4.4.

Los ejes de los rodillos son de 12 mm que se introducen en los rodamientos de las chumaceras y se sujetan mediante los 2 prisioneros con que cuenta dicho elemento.

El primer rodillos es el guía porque esta ensamblado directamente a la transmisión del eje del moto reductor por lo cual todos los demás están referenciados a este.



**Figura No. 4.4: Montaje de los rodillos**

#### 4.5 Montaje de las cadenas

Los tramos de la cadena de 106 y 54 eslabones se arma a partir de las cadena de 3 m de longitud y se unen por medio de seguros, luego se montan sobre los piñones de los rodillos antes de ubicarlos en los ejes de las chumaceras y se verifica la correcta alineación para no tener problemas en la transmisión por lo cual se procede a verificar

las separaciones entre centros de 746 mm en cada tramo tanto en el lado derecho como izquierdo y se procede a regular utilizando el juego que poseen las chumaceras en sus bases de ensamblaje, ver Figura No. 4.5.

En total se utilizan 15 tramos de 106 eslabones de cadena entre rodillos alternados para una mejor distribución y alineación de la transmisión, y un tramo de 54 eslabones para la transmisión desde el eje del motor reductor hacia el primer rodillo del transportador.



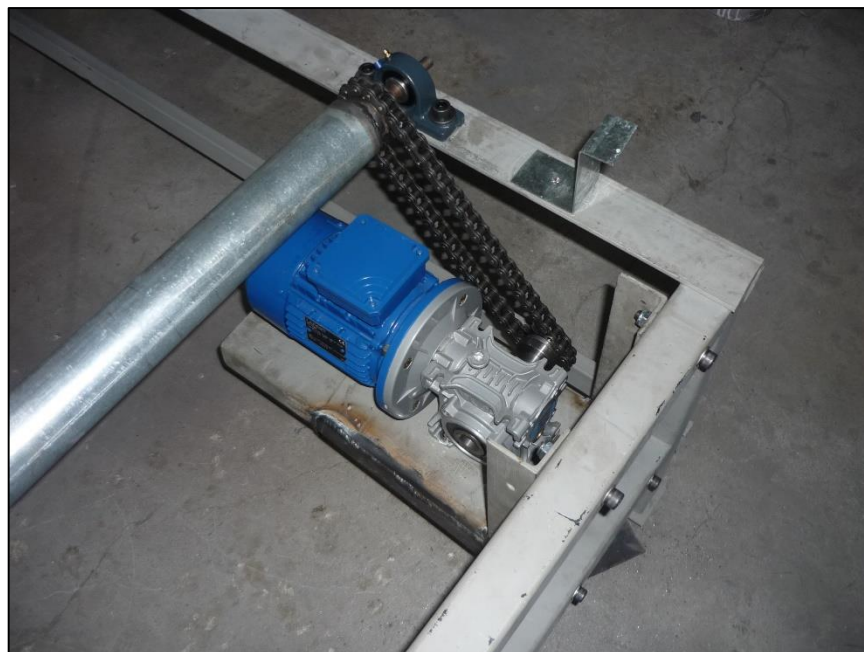
**Figura No. 4.5: Montaje de los rodillos**

#### **4.6 Montaje del motor y su base de soporte**

Primeramente se monta el eje de transmisión con el piñón por ajuste mediante la chaveta de 5x5x30 mm y este conjunto de igual manera se ensambla al eje de salida del reductor por ajuste con la chaveta de 8x8x30 mm; una vez realizado estos montajes procedemos a sujetar el motor a la base de soporte mediante 4 pernos allen y tuercas de seguridad M8 tomando en cuenta su alineación horizontal con respecto a la base.

El tramo de cadena de 54 eslabones es acoplado entre el primer rodillo y el eje de transmisión del motor y su alineados se logra gracias a los perfiles laterales de la base del soporte ya que tienen perforaciones ranuradas comúnmente llamadas ojos chinos lo cual permite desplazar todo el conjunto del motor con respecto al eje horizontal del rodillo.

La base del motor es sujeta directamente al perfil bases de la estructura del transportador mediante 4 pernos allen y tuerca de seguridad M10, ver Figura No. 4.6.



**Figura No. 4.6: Montaje del motor y su base de soporte**

#### **4.7 Montaje del pistón neumático MRU y su soporte**

El cilindro neumático MRU posee en sus bloques laterales perforaciones con las cuales se sujeta a su estructura de soporte mediante 4 pernos allen y tuercas de seguridad M8, ver Figura No. 4.7.

Hay que tener muy en cuenta que el perfil horizontal no rose con el bloque móvil del cilindro.

Luego se procede a montar este conjunto sobre la estructura del transportador en los ángulos L a una distancia de 7 metros desde su primer perfil base, la sujeción se realiza mediante 8 pernos allen y tuercas de seguridad M10 teniendo en cuenta la correcta alineación tanto en el eje horizontal como en el vertical.



**Figura No. 4.7: Montaje del pistón neumático MRU y su soporte**

#### **4.8 Montaje del Cabezal Porta pistolas**

El cabezal porta pistolas se divide en dos partes la superior y la inferior, la primera parte consta de la placa en forma de C y los 4 cojinetes para las guías de regulación de diámetro 20 mm, cada uno de ellos están sujetos a la placa mediante 2 pernos allen y tuercas de seguridad inox M5 también sujetan con un perno allen inox M6 en la parte superior del agujero guía para el ajuste de los ejes, este conjunto se monta sobre el bloque móvil del cilindro neumático MRU mediante 4 pernos allen inox M8.

La parte inferior está conformada por las 2 guías de regulación que se ensamblan a la parte superior, la placa horizontal que le da rigidez al cabezal y separa las pistolas,

6 cojinetes para los 3 ejes de 16 mm doblados a 90° que sirven para sujeción y la regulación de altura de las pistolas, cada cojinete están sujeto de la misma forma que los anteriores mencionados, ver Figura No. 4.8.



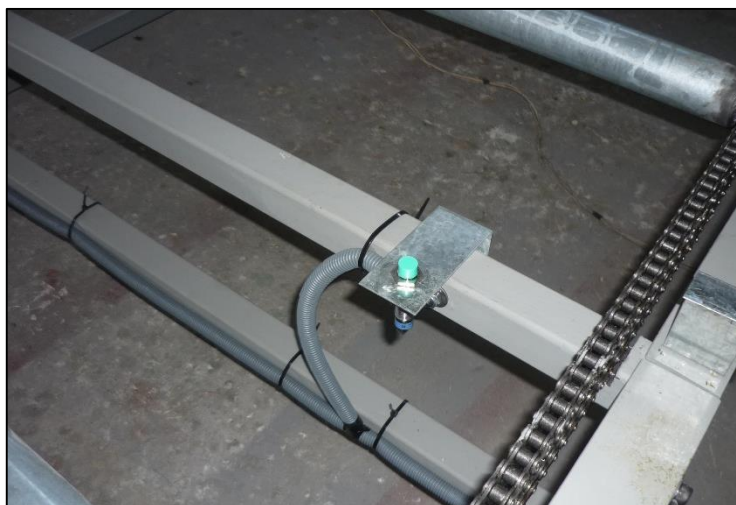
**Figura No. 4.8: Montaje del Cabezal Porta-pistolas**

#### **4.9 Montaje de los Sensores**

Para el montaje del sensor inductivo de cabeza pronunciada se utiliza una placa en forma de L con perforación M20 y por el otro lado una perforación ranurada horizontalmente que va sujeta al perfil bases de la estructura mediante perno allen y tuerca de seguridad M8 a una distancia de 100 mm desde el lado exterior de la estructura, ver Figura No. 4.9.

Este sensor es el encargado de detectar la presencia de láminas galvanizadas con lo cual permite el funcionamiento del sistema de pulverización de pintura cuando dicha lamina solo se encuentre bajo el cabezal porta pistolas.





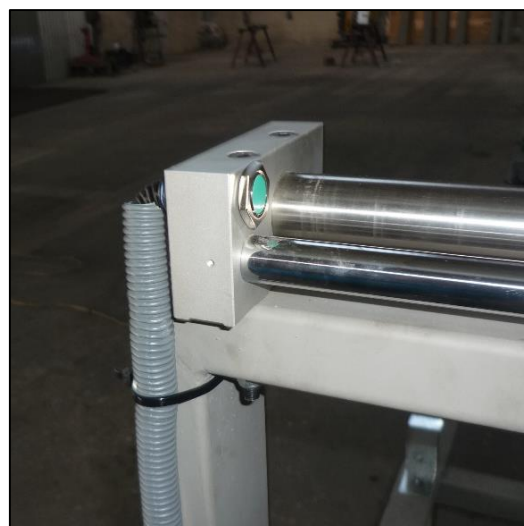
**Figura No. 4.9: Montaje del Sensor de detección de laminas**

Los sensores inductivos de cabeza rasante son colocados en las perforaciones de los bloques laterales del cilindro neumático MRU sujetos a la cara frontal y posterior por las propias tuercas que traen dichos sensores.

Estos sensores nos sirven para detectar la posición inicial y final del cabezal móvil del cilindro y así controlar su avance o retroceso, ver Figura No. 4.10.



**(a)**



**(b)**

**Figura No. 4.10: Montaje de los Sensores de carrera (a) inicial, (b) final del cilindro MRU**

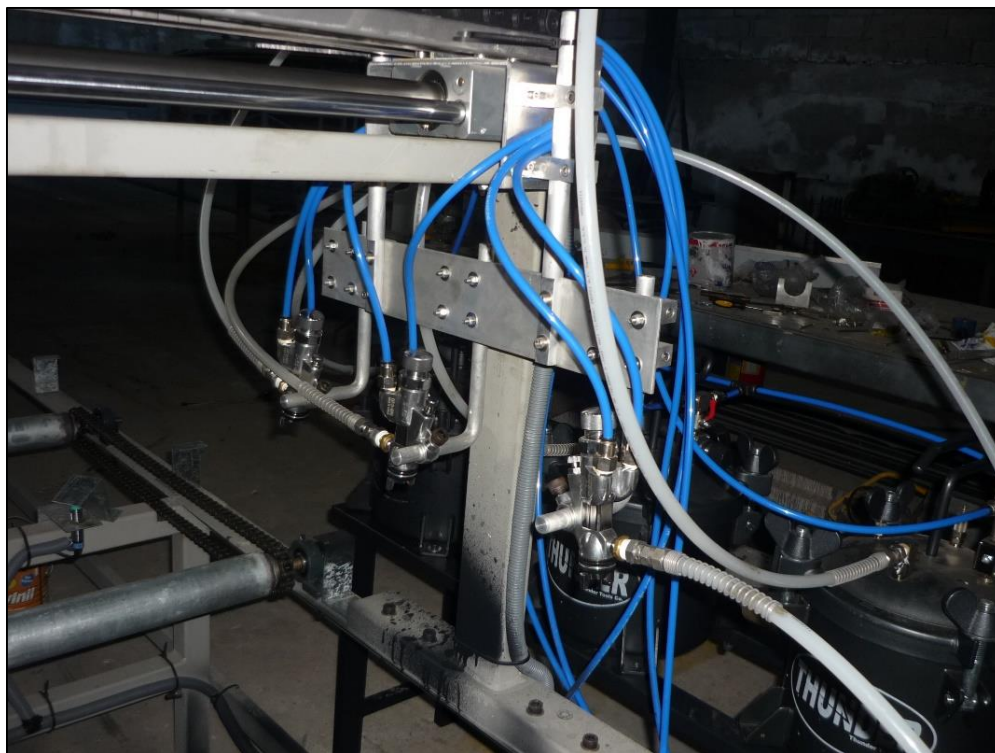
Los cables apantallados de los sensores están protegidos y guiados hacia el control box mediante manguera anillada.

#### **4.10 Montaje de las pistolas automáticas**

Las 3 pistolas automáticas de pulverización de pintura son ubicadas en los ejes porta pistolas ver Figura No. 4.11, dichas pistolas cuentan con 3 entradas de flujo, 2 de aire las cuales están diferenciadas por la marcas CAP que es la alimentación para la atomización y CYL para la apertura o cierre de la pistola, y la otra entrada inferior que es para la entrada de flujo de pintura.

Para las entradas de aire se utilizan acoples rápidos de 8 mm y manguera PU del mismo diámetro.

Para la entrada de pintura se utiliza un bushing reductor con acople flexible de 3/4 para manguera de nylon la cual resiste el flujo de cualquier componente corrosivo que contenga la pintura.



**Figura No. 4.11: Montaje de las pistolas automáticas**

#### 4.11 Montaje de los tanques de pintura

Los tanques que contienen la pintura y la presurizan están colocados sobre una estructura de 1500x500 mm a una altura desde el piso de 600 mm separado entre si una distancia de 100 mm y sujetos cada uno mediante 4 pernos allen y tuercas de seguridad M8, ver Figura No. 4.12.

En la parte superior de la tapa del tanque se encuentra una entrada de aire con su respectivo manómetro y regulador de caudal y una válvula de apertura y cierre, en este punto existe también un punto de salida de aire hacia la pistola; otro punto de salida es el de la pintura donde se acopla el otro extremo de la manguera de nylon y por la presión dentro del tanque la pintura circula hacia la pistola.

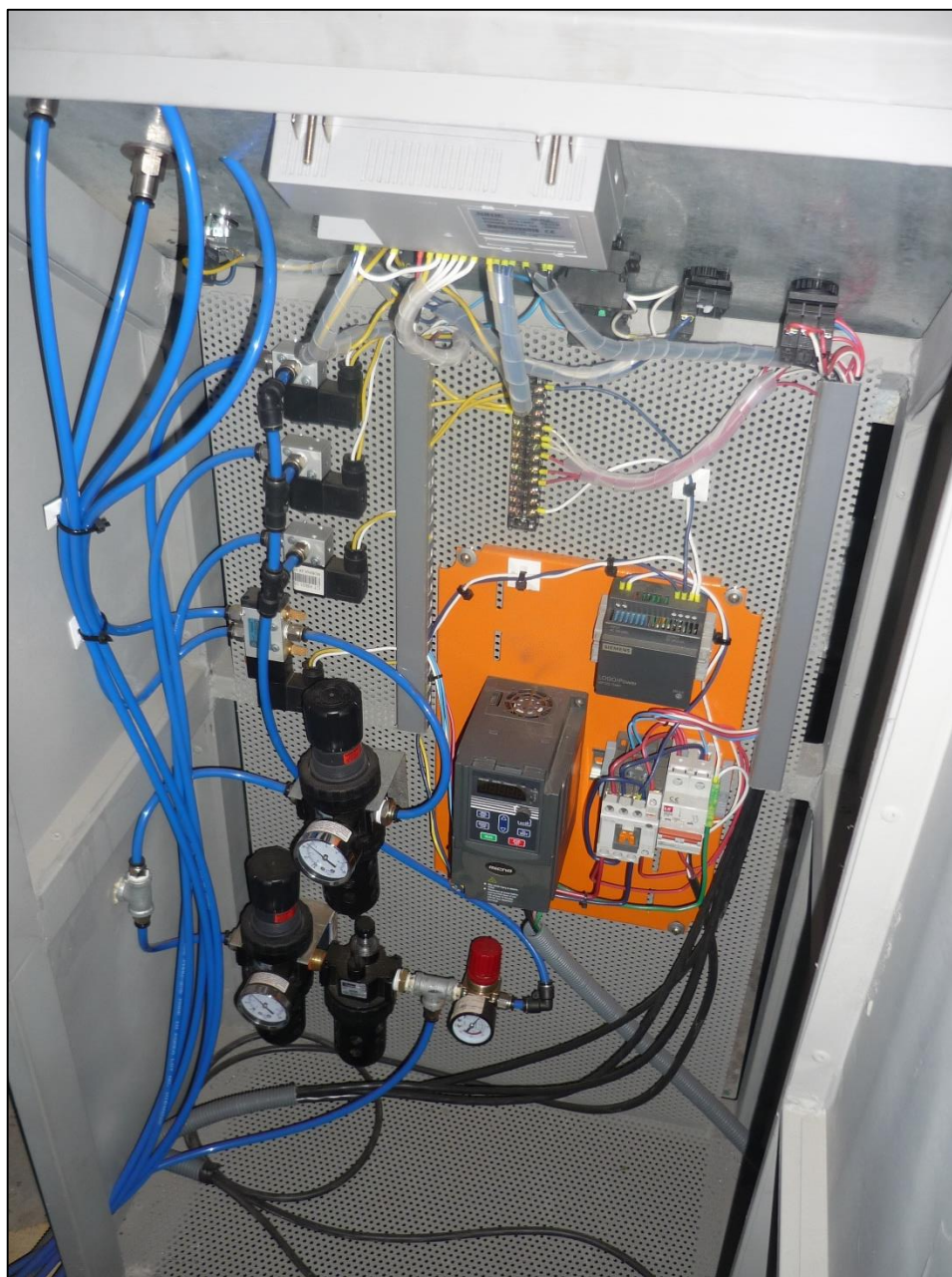
Las entradas de aire de los 3 tanques se encuentran en paralelo, todas las conexiones neumáticas están hechas con acoples rápidos y manguera PU de 8mm como se observa en la Figura No. 4.12.



**Figura No. 4.12: Montaje de los tanques de pintura**

#### 4.12 Montaje del armario de control

Los elementos eléctricos y neumáticos se encuentran instalados dentro del armario rectangular que cuenta con rieles y canaletas para una ubicación adecuada y organizada de los componentes y su cableado respectivo como se observa en la Figura No. 4.13; éste va ubicado a 500 mm de distancia del cabezal de pintado para poder tener una visualización del correcto funcionamiento del sistema y maniobra de los controles.



**Figura No. 4.13: Montaje del armario de control parte interior**

El PLC con su HMI se posiciona en el agujero rectangular en la parte frontal del armario cuyas dimensiones coinciden con el perfil de este componente, de igual forma se sujetan los elementos de maniobra como son los pulsadores, switch y reguladores de caudal a la plancha de la cubierta frontal, para mayor comodidad del usuario al manipular el sistema mediante la HMI, se la ha diseñado dicha cubierta con un ángulo de depresión con respecto a la horizontal de  $30^\circ$ , como se puede observar en la Figura No. 4.14.



**Figura No. 4.14: Montaje del armario de control parte frontal**

## CAPÍTULO 5

### 5. PRUEBAS Y ANALISIS DE FUNCIONAMIENTO

#### 5.1 Pruebas de funcionamiento del motor y la variación de su velocidad

El variador de frecuencia del motor del transportador de rodillos permite variar la velocidad pulsando los botones de aumento o disminución, el rango de frecuencia que se puede variar y al que está programado el variador con sus respectivas protecciones es de 0 hasta 100%. Para lo cual verificamos que velocidades entrega al ir aumentando de 10 en 10 el porcentaje de frecuencia y comprobamos si afecta el correcto transporte de la lámina galvanizada, los resultados se muestra en la Tabla No. 5.1 .

**Tabla No. 5.1:**

#### Variación de velocidad del transportador de rodillos

Porcentaje de frecuencia [%]	Velocidad del motor [rpm]	Velocidad del transportador (m/min)	Transporte correcto
0	0	0	NO
10	5,8	1,16	SI
20	11,9	2,37	SI
30	18,7	3,73	SI
40	25,4	5,06	SI
50	31,6	6,30	SI
60	39,1	7,80	SI
70	45,3	9,03	SI
80	50,5	10,07	SI
90	55,2	11,01	SI
100	59,3	11,82	SI

Verificamos que cumple con las condiciones de diseño de velocidad de transporte entre 2 y 10 m/min y sin ningún desvío de la lámina galvanizada, pero para mayor seguridad queda como recomendación diseñar guías laterales en los rodillos.

## 5.2 Pruebas de funcionamiento del cilindro neumático MRU

Mediante los reguladores de caudal se logra el control de velocidad tanto del avance como del retroceso del cilindro, en la tabla No. 5.2 se puede observar las pruebas de funcionamiento del cabezal porta pistolas a diferentes velocidades y se obtiene el rango de operación correcto del mismo.

**Tabla No. 5.2:**

### Variación de velocidad del cilindro neumático MRU

Porcentaje de caudal [%]	Presión [psi]	Velocidad del cilindro MRU [mm/s]	Movimiento correcto del cabezal porta pistolas
0	0	0	NO
10	21,7	50	NO
20	30,6	100	SI
30	39,4	150	SI
40	48,3	200	SI
50	57,1	250	SI
60	66	300	SI
70	74,8	350	SI
80	83,7	400	SI
90	92,5	450	NO
100	101,5 MAX	500	NO

El rango correcto de funcionamiento del cilindro neumático MRU está entre 100 y 400 mm/s, esto define la velocidad de pintado horizontal de las pistolas teniendo de este modo un rango amplio para la configuración de un correcto pintado y el espesor de pintura dependiendo de la capa que se quiera pulverizar, hay muchos factores más que intervienen para la calibración final de la velocidad de pintado para lo cual la maquina necesita de más pruebas ya con un lote completo, por el momento la producción se encuentra parada por falta de materia prima que son los rollos de láminas galvanizadas.

### 5.3 Pruebas de funcionamiento de las pistolas automáticas

La apertura de los conductos de salida de flujo de pintura y aire atomizado se logra mediante un pistón interno de la pistola para lo cual se necesita verificar el rango de funcionamiento correcto como se observa en la Tabla No 5.3 para nuestra aplicación, teniendo en cuenta la máxima presión de operación establecido por el fabricante.

**Tabla No. 5.3:**

#### Variación de presión para la apertura de la pistola

Presión [psi]	Apertura de la pistola	Paso de flujo
0	NO	NO
5	NO	NO
10	NO	NO
15	NO	NO
20	NO	NO
25	NO	NO
30	NO	NO
35	NO	NO
40	PARCIAL	PARCIAL
45	PARCIAL	PARCIAL
50	TOTAL	SI
55	TOTAL	SI
60 MAX	TOTAL	SI

Comprobamos que la apertura correcta de la pistola se logra entre el rango de presión de 50 a 60 psi pero por recomendación del fabricante no se debe operar a presión máxima, por lo cual mediante el regulador de presión de entrada de las pistolas establecemos la presión de trabajo en 55 psi. Establecida la presión de apertura de las pistolas automáticas, ahora verificamos la presión a la que se logra la pulverización de la pintura y la formación correcta del abanico de pintado, como se indica en la Tabla No. 5.4.



Tabla No. 5.4:

## Variación de presión para la pulverización de pintura

Presión [psi]	Pulverización de la pintura			Formación del abanico
	<i>Wash primer</i>	<i>Fondo</i>	<i>Acabado</i>	
0	NO	NO	NO	NO
5	NO	NO	NO	NO
10	NO	NO	NO	NO
15	NO	NO	NO	NO
20	NO	NO	NO	NO
25	NO	NO	NO	NO
30	PARCIAL	NO	NO	SI
35	TOTAL	PARCIAL	PARCIAL	SI
40	TOTAL	PARCIAL	PARCIAL	SI
45	TOTAL	TOTAL	PARCIAL	SI
50	TOTAL	TOTAL	TOTAL	SI
55	TOTAL	TOTAL	TOTAL	SI
60 MAX	TOTAL	TOTAL	TOTAL	SI

Verificamos que para nuestra aplicación de los 3 tipos de pintura la pulverización total depende de la viscosidad de la misma, al ser un circuito de alimentación de entrada de presión en paralelo para las 3 pistolas, se establece mediante el regulador de caudal una presión de trabajo de 55 psi y para cada pistola su funcionamiento correcto se logra mediante los reguladores que poseen en su estructura.

#### 5.4 Pruebas de funcionamiento del flujo de pintura de los tanques

La presión de entrada máxima a los tanques es la establecida anteriormente de 55 psi, por lo cual la regulación de entrada se logra mediante cada regulador individual que poseen los tanques y como se observa en la Tabla No. 5.5 la llegada del flujo hacia las pistolas depende de la viscosidad de cada tipo de pintura.

Tabla No. 5.5:

## Variación de presión de los tanques de pintura

Presión [psi]	Flujo de pintura			Exceso de pintura		
	<i>Wash Prime</i>	<i>Fondo</i>	<i>Acabado</i>	<i>Wash Prime</i>	<i>Fondo</i>	<i>Acabado</i>
0	NO	NO	NO	NO	NO	NO
2	NO	NO	NO	NO	NO	NO
4	NO	NO	NO	NO	NO	NO
6	SI	NO	NO	NO	NO	NO
8	SI	SI	NO	NO	NO	NO
10	SI	SI	SI	NO	NO	NO
12	SI	SI	SI	NO	NO	NO
14	SI	SI	SI	NO	NO	NO
16	SI	SI	SI	SI	NO	NO
18	SI	SI	SI	SI	NO	NO
20	SI	SI	SI	SI	SI	SI
30	SI	SI	SI	SI	SI	SI
40	SI	SI	SI	SI	SI	SI
50	SI	SI	SI	SI	SI	SI
60 MAX	SI	SI	SI	SI	SI	SI

De las pruebas realizadas se puede establecer que los rangos de presión de trabajo sin que exista exceso de pintura en las boquillas de las pistolas es: para el wash prime desde los 8 hasta los 15 psi, para el fondo desde los 8 hasta los 19 psi y para el acabado desde los 10 hasta los 20 psi.

### 5.5 Pruebas de pintado con relación a la altura de las pistolas

Como prueba final luego de tener calibrados los flujos de trabajo de cada pintura procedemos a verificar la distancia óptima a la que se deben ubicar cada pistola sobre la lámina galvanizada para obtener la capa de pintura desea los resultados se observan en la Tabla No. 5.6.

**Tabla No. 5.6:****Variación de la altura de las pistolas**

Altura [mm]	Pintado correcto		
	<i>Wash Prime</i>	<i>Fondo</i>	<i>Acabado</i>
200	NO	NO	NO
210	NO	NO	NO
220	NO	NO	NO
230	NO	NO	NO
240	NO	NO	NO
250	NO	NO	NO
260	NO	SI	SI
270	NO	SI	SI
280	SI	SI	SI
290	SI	SI	SI
300 MAX	SI	SI	SI

De los resultados obtenidos de la Tabla No. 5.6 podemos establecer q la distancia óptima de pintado para cada capa es: wash primer desde los 270 hasta los 300 mm, para el fondo desde los 250 hasta 300 mm y del acabado desde los 250 hasta los 300 mm desde la superficie de la lámina galvanizada.

El diseño del cabezal porta pistolas nos permite regular de forma grupal o individual cada pistola de tal forma que se cumple con las condiciones de diseño; con lo cual se logrará posteriormente estar dentro de los rangos de espesor recomendados para cada capa pintura.

## CAPÍTULO 6

### ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO

El presente capítulo tiene como fin obtener el beneficio costo de la manufactura del sistema para el proceso de automatización de pintado realizado en el presente proyecto con una oferta externa de venta cuyo valor es mucho más elevada; también se estima la proyección de la inversión y el tiempo de retorno de la misma.

#### 6.1 Costos totales de materiales empleados y manufactura

Si bien se requirió de una inversión considerable, misma que se detalla a continuación la recuperación será a corto plazo teniendo en cuenta que se aumenta la producción y calidad del proceso de pintado, además se reducen desperdicios de pintura.

**Tabla No. 6.1:**

#### Costos totales de materiales empleados y manufactura

COMPONENTES	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
<b><i>ELECTRICOS/ELECTRONICOS</i></b>			
PLC+HMI y cable de programación	1	654,36	654,36
Motor reductor trifásico, variador de frecuencia, protecciones y elementos de mando	1	904,78	904,78
Fuente de alimentación DC	1	125,44	125,44
Sensores inductivos	3	50,4	151,2
Materiales y componentes eléctricos	1	91,34	91,34
Pulsador	2	6,8	13,6
Paro de emergencia	1	8,45	8,45
<b><i>NEUMATICOS/ELECTRONEUMATICOS</i></b>			
Actuador Neumático MRU	1	767,7	767,7
Pistolas de pulverizado automáticas	3	224	672

 **CONTINÚA**

Tanque de pintura	3	228,85	686,55
Electroválvula 5/2 24VDC	1	40,84	40,84
Electroválvula 3/2 24VDC	3	37,26	111,78
Filtro aire-aceite/Regulador	1	171,55	171,55
Filtro aire/Regulador	1	94,91	94,91
Manguera PU	40	2,18	87,2
Manguera de Nylon	8	6,15	49,2
Accesorios neumáticos	1	272,58	272,58
Cadena porta mangueras	1	80	80
<b><i>MATERIALES CONSTRUCTIVOS</i></b>			
Sistema de transmisión	1	656,95	656,95
Perfiles estructural	1	682,75	682,75
Armario Eléctrico	1	50	50
Elementos de sujeción	1	335,2	335,2
<b><i>MANO DE OBRA/MECANIZADO/OTROS</i></b>			
Construcción de estructura	1	840	840
Mecanizado de piezas	1	340	340
Pintura (gl)	1	28	28
Impresión de simbología	1	10	10
Otros materiales	1	80	80
		<b>TOTAL</b>	<b>8006,38</b>

## 6.2 Costos indirectos de producción-CIF

Para los costos indirectos de fabricación se consideran los costos operativos del proyecto que incluyen la energía eléctrica, agua, transporte y alimentación.

También se toman en cuenta los costos de mano de obra indirecta como son las horas de tutorías con los Ingenieros guías de la universidad y el valor de las horas dedicadas al diseño y generación de planos mecánicos, eléctricos y de control, todos estos costos se detallan en la siguiente Tabla No. 6.2.

**Tabla No. 6.2:****CIF de producción**

<b>CIF DE PRODUCCIÓN</b>	
<b>ENERGÍA ELÉCTRICA</b>	150
<b>AGUA</b>	30
<b>TRANSPORTE</b>	200
<b>ALIMENTACIÓN</b>	240
<b>HORAS DE TUTORIAS</b>	960
<b>HORAS DE DISEÑO</b>	1350
<b>TOTAL CIF</b>	2930

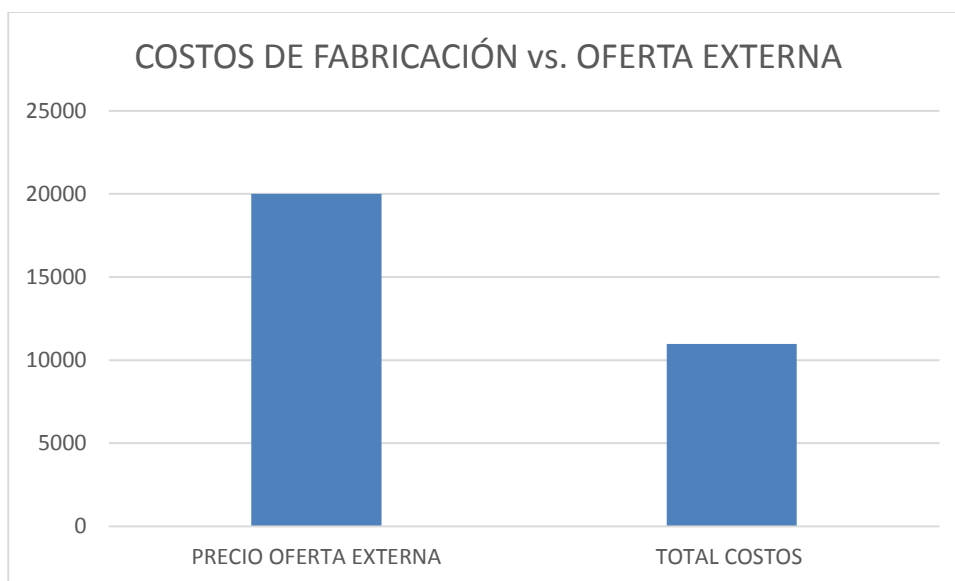
**6.3 Ahorro total del proyecto**

En la Tabla No. 6.3 se puede observar el valor total de los costos involucrados en el diseño y construcción del presente proyecto y se compara con el precio de una oferta externa para la construcción solo de un transportador de rodillos de similares características y lo que además implicaría el costo del sistema automático de pintado que lo realizaría otra empresa.

**Tabla No. 6.3:****Ahorro total del proyecto**

<b>AHORRO TOTAL DEL PROYECTO</b>	
<b>PRECIO OFERTA EXTERNA</b>	20000
<b>TOTAL COSTOS</b>	10966,38
<b>AHORRO</b>	9033,62

La empresa ha ahorrado un 45,17% al diseñar y fabricar su propio sistema automático de pintado como se observa en la Figura No. 6.1, proyecto es rentable.



**Figura No. 6.1: Costos de fabricación vs. Oferta externa**

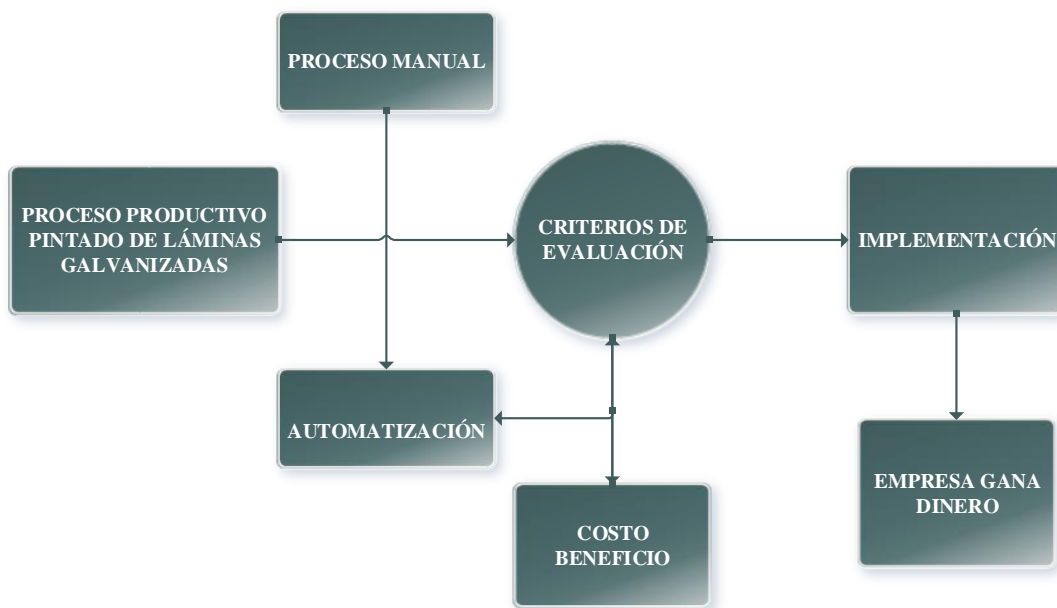
#### 6.4 Análisis financiero del sistema automático de pintado.

Al implementar la automatización en un proceso productivo en este caso a la línea de pintado de láminas galvanizadas acanaladas, la inversión se refleja en ganancia para la empresa como se puede observar en la Figura No. 6.2.



**Figura No. 6.2: Proceso productivo en la empresa**

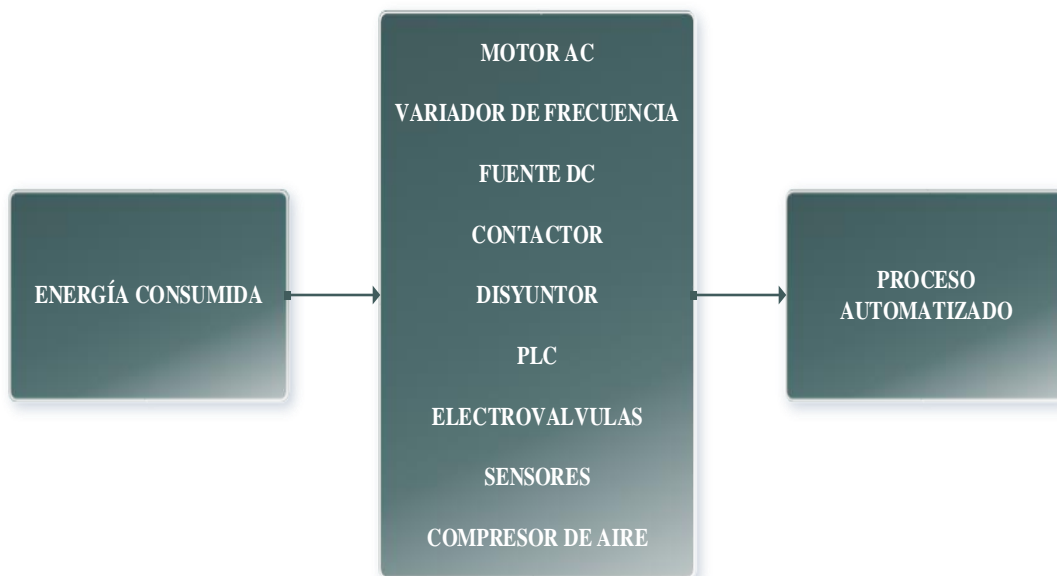
El medio que se emplea en la generación de una ganancia para la empresa mediante la automatización de procesos de la línea de pintado se observa en la Figura No. 6.3.



**Figura No. 6.3: Medio para el proceso productivo en la empresa**

#### 6.4.1. Análisis del consumo energético del sistema automático.

Para realizar un análisis beneficio costo, primero se debe determinar cuanta energía es consumida en el proceso automatizado, para lo cual se consideran los siguientes elementos como se indica en la Figura No. 6.4.



**Figura No. 6.4: Energía consumida en el proceso automatizado**



- **Motor AC trifásico.**

$$Pot. activa = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \Phi$$
$$Pot. activa = \sqrt{3} \cdot 220V \cdot 10A \cdot 0.8 = 2540W$$

- **Variador de frecuencia**

$$Pot. activa = 400 W$$

- **Fuente DC**

$$Pot. activa = V \cdot I$$
$$Pot. activa = 120V \cdot 1,3A = 156W$$

- **Contactador**

$$Pot. activa = V \cdot I$$
$$Pot. activa = 220V \cdot 5A = 1100W$$

- **Disyuntor**

$$Pot. activa = V \cdot I$$
$$Pot. activa = 220V \cdot 10A = 2200W$$

- **PLC**

$$Potencia = 12W$$

- **Electroválvulas**

$$Pot. activa = 2,5 W$$

- **Sensores**

$$Pot. activa = V \cdot I$$
$$Pot. activa = 24V \cdot 0,02A = 0,48W$$

- **Compresor de aire**

$$Pot. activa = 3700 W$$

Por lo tanto:

$$Carga\ total = \sum Cargas\ de\ consumo$$

$$\sum Cargas = 2540 + 400 + 156 + 1100 + 1200 + 12 + 4(2,5) + 3(0,48) + 3700$$

$$Carga\ total = 9,12\ kW$$

#### 6.4.2. Costo de mano de obra con la producción manual

La producción de 1 lote de 150 láminas de 6 metros de largo por 1,1 metros de ancho, esto quiere decir un total de 990 m<sup>2</sup>, se realiza en 3 días y el trabajo lo realizan 1 persona, por lo cual se tiene:

$$Tiempo\ por\ lote = 8 \frac{h}{día} \cdot 3días \cdot 1 \frac{personas}{lote} = 24 \frac{h}{lote}$$

$$Salario = \frac{\frac{\$354}{mes}}{\frac{20días}{mes}} = \frac{\$17,7}{día} \cdot \left( \frac{1día}{8\ horas\ laborables} \right) = \frac{\$2,21}{h}$$

El costo de cada lote es:

$$Costo\ por\ lote = \frac{24h}{lote} \cdot \frac{\$2,21}{h} = \frac{\$53,10}{lote}$$

Una persona pinta los 990 m<sup>2</sup> en 24 horas, recibiendo un pago de \$53,10 por cada lote.

#### 6.4.3. Costo con el sistema automático de pintado.

Automatizando la producción se pretende pintan aproximadamente 100 m<sup>2</sup> de lámina galvanizada por hora ya con el sistema funcionando a la máxima capacidad e incluido el sistema de precalentamiento, es decir, que se podrá producir 1 lote (1320 m<sup>2</sup>), en un tiempo de:

$$Tiempo\ por\ lote = \frac{\frac{1320\ m^2}{lote}}{\frac{100\ m^2}{hora}} = \frac{13,2\ h}{lote}$$

Entonces se pretende tener la producción de 1 lote en 13 horas y 12 minutos, el sistema de pintado requiere el trabajo de 1 persona para la producción, recibiendo un pago por las horas de trabajo de:

$$\text{Pago por lote} = \frac{\$2,21}{h} \cdot 13,2 \frac{h}{\text{lote}} = \frac{\$29,17}{\text{lote}}$$

Con lo calculado anteriormente, el sistema automatizado tiene un consumo energético de 9,12 kWh (la tarifa de consumo de energía para el sector industrial en Ecuador es de 0,0897kWh) y con el tiempo de producción consumido de cada lote, se tiene:

$$\text{Costo por lote} = 9,12kwh \cdot \left( \frac{\$0,0897}{1kwh} \right) \cdot 13,2 \frac{\text{horas}}{\text{lote}} = \frac{\$10,80}{\text{lote}}$$

Con el sistema de pintado automático, se tiene un ahorro total en la producción por lote de:

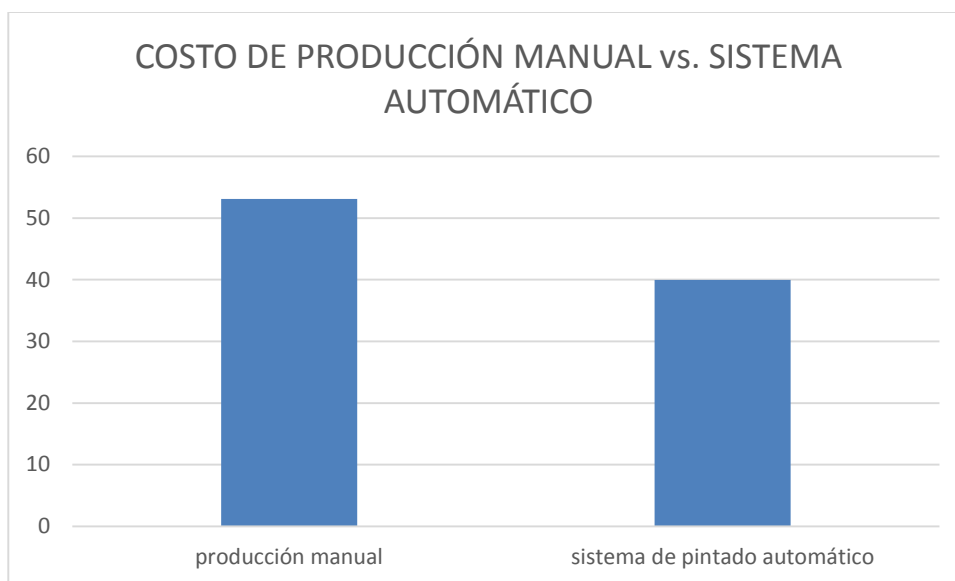
$$\text{Ahorro por lote} = \$53,10 - \$29,17 - \$10,80 = \$13,13$$

Obteniéndose un costo - beneficio de:

$$\text{Costo - beneficio} = \frac{\$13,13}{\text{lote}} \cdot \left( \frac{100\%}{\frac{\$53,10}{\text{lote}}} \right) = 24,73\%$$

Realizando un análisis anticipado esto quiere decir que hay un margen aceptable de ahorro entre seguir realizando el proceso manual y la utilización del sistema automático de pintado como se observa en la Figura No. 6.5.

Más adelante se realizan las respectivas proyecciones a futuro de la inversión para así obtener el verdadero costo benéfico de la misma, en donde se consideran varios factores que intervienen en la producción del pintado de las láminas galvanizadas acanaladas.



**Figura No. 6.5: Energía consumida en el proceso automatizado**

#### 6.4.4. PROYECCIÓN DE LA INVERSIÓN

**Tabla No. 6.4:**

##### Costos de venta del producto

<b>COSTO DE LAMINA GALVANIZADA PINTADA POR METRO CUADRADO</b>		
	[\$]	[%]
<b>Costo unitario</b>	8,08	100
<b>P.V. P. sin IVA</b>	11,28	+40
<b>P.V. P. incluido IVA</b>	12,63	+12

Se tiene una capacidad instalada para producir 1000 metros cuadrados de chapa galvanizada acanaladas, por lo que anualmente se puede producir 12000 m<sup>2</sup>.

##### 6.4.4.1 Proyección del estado de ganancias/perdidas

Esta proyección se realiza a 5 años a partir del 2016 teniendo al 2015 como año pre operacional de puesta en marcha del equipo, tomando en cuenta las ventas anuales como se observa en la Tabla No. 6.5.

**Tabla No. 6.5:**

**Estado de pérdidas y ganancias**

<b>ESTADO DE PÉRDIDAS Y GANANCIAS</b>					
<b>DETALLES</b>	<b>AÑOS</b>				
	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>
	<b>MONTO</b>	<b>MONTO</b>	<b>MONTO</b>	<b>MONTO</b>	<b>MONTO</b>
Ventas Netas	112800	136713,6	138080,74	139461,54	140856,16
Costos de ventas	87063,42	103182,68	103453,23	103454,08	103454,08
<b>UTILIDAD BRUTA EN VENTAS</b>	<b>25736,58</b>	<b>33530,92</b>	<b>34627,51</b>	<b>36007,46</b>	<b>37402,08</b>
Gastos de Administración	10386	10386	10386	10386	10386
<b>UTILIDAD (PÉRDIDA) OPERACIONAL</b>	<b>15350,58</b>	<b>23144,92</b>	<b>24241,51</b>	<b>25621,46</b>	<b>27016,08</b>
<b>UTILIDAD (PÉRDIDA) ANTES PARTICIPACIÓN</b>	<b>15350,58</b>	<b>23144,92</b>	<b>24241,51</b>	<b>25621,46</b>	<b>27016,08</b>
15% Participación utilidades	2302,59	3471,74	3636,23	3843,22	4052,41
<b>UTILIDAD (PÉRDIDA) ANTES IMPUESTOS</b>	<b>13047,99</b>	<b>19673,19</b>	<b>20605,28</b>	<b>21778,24</b>	<b>22963,67</b>
Impuesto a la renta	3262	4918,3	5151,32	5444,56	5740,92
<b>UTILIDAD (PÉRDIDA) NETA</b>	<b>9785,99</b>	<b>14754,89</b>	<b>15453,96</b>	<b>16333,68</b>	<b>17222,75</b>
Reserva Legal	978,6	1475,49	1545,4	1633,37	1722,27

#### 6.4.4.2 Proyección del flujo de caja

Esta proyección se realiza para establecer el flujo operacional a partir del 2015 teniendo este año como pre operacional de puesta en marcha del equipo, como se observa en la Tabla No. 6.6.

**Tabla No. 6.6:**

#### Flujo de caja proyectado

<b>FLUJO DE CAJA PROYECTADO</b>						
	<b>AÑOS</b>					
	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>
<b>A. INGRESOS OPERACIONALES</b>	<b>Pre-oper.</b>					
Recuperación por ventas	0	108100	135717,2	138023,77	139404,01	140798,05
<b>B. EGRESOS OPERACIONALES</b>						
Pago a proveedores	5982,45	73722,81	95144,74	96840	96840	96840
Mano de obra directa	81,47	4248	4248	4248	4248	4248
Gastos de administración	187,95	9800	9800	9800	9800	9800
Costos Indirectos de fabricación	22,03	1148,57	1148,57	1148,57	1148,57	1148,57
<b>TOTAL B.</b>	<b>6273,89</b>	<b>8819,38</b>	<b>110341,31</b>	<b>112036,57</b>	<b>112036,57</b>	<b>112036,57</b>
<b>C. FLUJO OPERACIONAL (A-B)</b>	<b>-6273,89</b>	<b>19180,62</b>	<b>25375,89</b>	<b>25987,2</b>	<b>27367,44</b>	<b>28761,48</b>

### 6.4.4.3 Tasa interna de retorno TIR

Es el promedio geométrico de los rendimientos futuros esperados para la inversión y puede utilizarse como un indicador de rentabilidad de un proyecto. Esta tasa se refiere al cálculo de la tasa de descuento ver Tabla No. 6.7, que hace cero el valor actual neto VAN.

**Tabla No. 6.7:**

#### Tasa interna de retorno TIR

TASA INTERNA DE RETORNO TIR							
FLUJO DE FONDOS	AÑOS						
	2015	2016	2017	2018	2019	2020-2024	2025
Inversión Fija	-12175,11	0	0	0	0	0	0
Inversión Diferida	-2930						
Capital de trabajo	-6273,89						
Flujo Operacional (egresos) ingresos		19180,62	25375,89	25987,2	27367,44	28761,48	28761,48
Impuestos		-3262	-4918,3	-5151,32	-5444,56	-5740,92	-5740,92
Participación de los trabajadores		-2302,59	-3471,74	-3636,23	-3843,22	-4052,41	-4052,41
Valor de Recuperación:							
Inversión fija							3021,02
Capital de trabajo							6272,89
Flujo Neto	-21379	13616,03	16985,85	17199,65	18079,66	18968,15	28263,06
<b>TASA INTERNA DE RETORNO</b>	<b>74,08%</b>						

#### 6.4.4.4 Valor actual VAN

Tabla No. 6.8:

#### Valor actual neto VAN

<b>VALOR ACTUAL NETO EN BASE A LA TMAR</b>		
<b>AÑOS</b>	<b>FLUJO OPERACIONAL (PRECIOS CONSTANTES)</b>	<b>VAN 22%</b>
2015	-21379	-21379
2016	13616,03	11160
2017	16985,85	11412
2018	17199,65	9471
2019	18079,66	8161
2020	18968,15	7018
2021	18968,15	5752
2022	18968,15	4715
2023	18968,15	3864
2024	18968,15	3168
2025	28263,06	3869
	<b>VALOR ACTUAL NETO</b>	<b>47211</b>

#### 6.4.4.5 Razón Beneficio/Costo

Tabla No. 6.9:

#### Razón Beneficio/Costo

<b>RAZÓN BENEFICIO/COSTO</b>		
<b>AÑOS</b>	<b>FLUJO OPERACIONAL DESCONTADO</b>	
2015	-21379	
2016	11160	
2017	11412	
2018	9471	<b>R=VALOR ACTUAL/INVERSIÓN</b>
2019	8161	
2020	7018	
2021	5752	
2022	4715	<b>R=3,21</b>
2023	3864	
2024	3168	
2025	3869	
<b>SUMA</b>	<b>68590</b>	



#### 6.4.4.6 Periodo real de la recuperación de la inversión

**Tabla No. 6.10:**

#### Periodo real de la recuperación de la inversión


PERIODO REAL DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN			
AÑOS	FLUJO OPERACIONAL DESCONTADO	SUMATORIA FLUJO NETO	PRRI=HASTA QUE SUM (FCN)= INVERSIÓN
2015	-21379		
2016	13616,03	13616,03	
2017	16985,85	30601,89	1,54 AÑOS
2018	17199,65	47801,54	
2019	18079,66	65881,2	
2020	18969,15	84849,35	
2021	18969,15	103817,5	
2022	18969,15	122785,65	
2023	18969,15	141653,8	
2024	18969,15	160721,95	
2025	28263,06	188985,01	

Como se puede observar en la Tabla No. 6.10 se tiene que el periodo real de la recuperación de la inversión es en el segundo año, considerado un plazo corto.

#### 6.4.4.7 Punto de Equilibrio

**Tabla No. 6.11:**

#### Punto de equilibrio

PUNTO DE EQUILIBRIO
VENTAS= PRECIO x CANTIDAD
VENTAS=C. FIJO+C.VARIABLES+UTILIDAD
PUNTO DE EQUILIBRIO, LA UTILIDAD =0
$Q=CF/P-Cvu$
 CONTINÚA

<b>COSTOS FIJOS</b>	<b>PERIODO 2016 VALORES</b>	<b>PORCENTAJES</b>
Mano de Obra Directa	4248	0,04
Reparaciones y Mantenimiento	477,46	0,00
Seguros	596,82	0,01
Imprevistos	54,69	0,00
Depreciación y Amortización	1803,51	0,02
Gastos de Administración	9800	0,10
<b>TOTAL COSTOS FIJOS</b>	<b>16980,48</b>	<b>0,17</b>
<b>COSTOS VARIABLES</b>		
Materias Primas Consumidas	82045	0,82
Suministros	19,6	0,00
<b>TOTAL COSTOS VARIABLES</b>	<b>82064,6</b>	<b>0,82</b>
<b>PUNTO DE EQUILIBRIO</b>		
<b>UNIDADES</b>	<b>5525</b>	<b>55,25%</b>
<b>VALORES</b>	<b>62319</b>	<b>55,25%</b>

#### 6.4.4.8 Resumen de los criterios de evaluación

Tabla No. 6.12:

#### Resumen de los criterios de evaluación

<b>RESUMEN DE LOS CRITERIOS DE EVALUACIÓN</b>			
	<b>RECOMENDACIÓN</b>	<b>VALOR</b>	<b>RESULTADO</b>
<b>TASA MÍNIMA ACEPTABLE DE RENDIMIENTO</b>	TMAR	22%	TMAR: Es el valor mínimo de rentabilidad que debe tener el proyecto
<b>TASA INTERNA DE RETORNO</b>	TIR>TMAR	74,08%	VIABLE
<b>VALOR ACTUAL NETO</b>	VAN (TMAR)>0	47211	VIABLE
<b>RAZÓN BENEFICIO/COSTO</b>	R B/C >1	3,21	VIABLE
<b>PERIODO REAL DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN</b>	PRRI<10 AÑOS	1,54	VIABLE
<b>PUNTO DE EQUILIBRIO</b>	PE<75%	55,25%	VIABLE

## CAPÍTULO 7

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 7.1 Conclusiones

- Un operador realizando el pintado de forma manual de una lámina de 6 metros de largo se demora un promedio de 5 min/capa, independientemente del tiempo que se demora en la preparación de la pintura su llenado y la ubicación de la lámina, logrando pintar solamente una capa de 12 láminas en una hora o 79,2 m<sup>2</sup>/hora. La automatización del proceso de pintado ha cumplido el objetivo de disminuir a la mitad el tiempo de aplicación de una capa de pintura ya que se tarda 2,5 min/capa de la misma lámina de 6 metros produciendo dos veces más de lo que se hace manualmente para este producto.
- Se ha logrado el control adecuado de la velocidad del motor AC del transportador de rodillos mediante el uso de un variador de frecuencia, con lo cual se ha obtenido los rangos de velocidades establecidos como condiciones de diseño de entre 2-10 m/min y además se tiene el control de cambio de giro y pause en marcha.
- Se ha obtenido una velocidad de pintado de 3m/min tenido en cuenta que la velocidad del cilindro MRU aún no trabaja a su máxima capacidad ya que se necesita de absorbedores de impacto los cuales por motivos de importación aun no son adquiridos, teniendo por el momento un sistema de absorción mediante resortes provisionales, en el momento de montar dichos absorbedores tranquilamente se llegará a la velocidad deseada de 5-10 m/min.
- Las pistolas automáticas presentan un alto rendimiento de transferencia de pintura alrededor del 80% por lo cual se ha reducido el desperdicio por la formación de la nieve de pintura que se producía anteriormente con las pistolas manuales.
- La regulación de altura del cabezal porta pistola se encuentra entre los rangos establecidos de 200 a 300 mm sobre la lámina galvanizada a pulverizar con pintura,

las pruebas de espesor de las capas de pintura no se realizan por falta de equipo de medición que se encuentra en campo.

- El sistema de precalentamiento se encuentra dimensionado y seleccionado el equipo de luz infrarroja, el cual puede ser instado cuando la empresa así lo decida y de este modo se reducirán los tiempos de secado entre capa y capa lo que representa el aumento de producción.
- Los sistemas de control se encuentran en operación y en constante mejora y calibración ya que por el momento aún no se cuenta con una prueba final de producción de un lote entero por falta de materia prima en bodega.
- Aun no se puede estimar el ahorro final de pintura con la implementación de este equipo debido a lo comentado anteriormente.
- El costo total del sistema automático de pintado de chapas galvanizadas acanaladas diseñado y construido es 45% más barato que el costo de una oferta de construcción de una maquina con similares características de un fabricante en el mercado ecuatoriano.
- El presente proyecto tiene como resultado una viabilidad alta para su realización y una rentabilidad aceptable, esto se puede corroborar a través de los índices financieros analizados en el capítulo 7. Los flujos de caja proyectados a 10 años demuestran que la inversión en la automatización del proceso realizada será recuperada en su totalidad en el segundo año de producción luego de la puesta en marcha del equipo automático de pintado.
- Hay que dejar muy en claro que al automatizar un proceso no se está desplazado la mano de obra o quitando el trabajo a las personas como se piensa comúnmente, ya que los mismo trabajadores pueden ser los encargados de operar el sistema o a su vez son reubicados en otros lugares de trabajo, un sistema automatizado esta direccionado a mejorar el proceso y la calidad del producto final reduciendo los tiempos.

## 7.2 Recomendaciones

- Con el fin de mejorar el transporte lineal de las láminas galvanizadas y no tener ninguna desviación es apropiado colocar topes guías regulables de acuerdo al ancho de las láminas o también queda abierta la posibilidad de desarrollar un sistema automático de alimentación y alineación de las láminas que puede ser propuesto como futuro tema de tesis.
- Realizar los mantenimientos del sistema automático de pintado establecidos en el manual de usuario generado, que incluya lubricación del sistema de transmisión de potencia del transportador de rodillos, la limpieza de las pistolas de pulverización de pintura automáticas, entre otros, para garantizar un correcto funcionamiento del equipo.
- Tomar en consideración que si existe alguna variación en las medidas o formas de las láminas galvanizadas se deben establecer nuevos parámetros de funcionamiento en el PLC.
- Tener en cuenta de no sobrepasar las cargas máximas del transportador de rodillos ya que esto podría traer graves consecuencias al motor transmisor de potencia.
- Una vez terminado la etapa de calibraciones del equipo el código de programación no podrá ser modificado sin antes previa consulta con el diseñador del proyecto, evitando así fallas en el sistema.

## BIBLIOGRAFÍA

- Área Tecnología. (2010). *NEUMÁTICA*. Obtenido de <http://www.areatecnologia.com/NEUMATICA.htm>
- Auto Body Magazine. (2013). *SECADO ACELERADO*. Obtenido de [http://www.autobodymagazine.com.mx/abm\\_previo/2013/03/secado-acelerado2/](http://www.autobodymagazine.com.mx/abm_previo/2013/03/secado-acelerado2/)
- Automatismo Industrial. (2013). *Curso Carnet Instalador Baja Tensión*. Obtenido de DETECTORES INDUCTIVOS: <http://automatismoindustrial.com/417-2/>
- BINKS. (2012). Pistola pulverizadora automática BINKS modelo 21, 21V y 21M. *Catálogo de pistolas pulverizadoras BINKS*, 13.
- Bolton W. (2011, p. 2). *Mecatrónica sistemas de control electrónico en ingeniería mecánica y eléctrica (segunda edición)*. Colombia: Alfaomega. Sangolquí-Ecuador: Escuela Politécnica del Ejército.
- Budynas, R. G. (2012). *Diseño en Ingeniería mecánica de Shigley*. México D.F.: McGrawHill.
- Canto, C. (2009). *Sensores de Proximidad Inductivos*. Obtenido de [http://galia.fc.uaslp.mx/~cantocar/automatas/PRESENTACIONES\\_PLC\\_PDF\\_S/24\\_SENORES\\_INDUCTIVOS.PDF](http://galia.fc.uaslp.mx/~cantocar/automatas/PRESENTACIONES_PLC_PDF_S/24_SENORES_INDUCTIVOS.PDF)
- Carnicer. (1997, p. 79). *Aire comprimido – teoría y cálculo de las instalaciones (Primera Edición)*. España: Editorial Gustavo Gill S.A. Quito-Ecuador: Empresa Ecuatoriana Unitech.
- Carnicer R. (1997, pp. 200-2001). *Sistemas industriales accionados por aire comprimido (Primera Edición)*. España: Thomson Paraninfo. Sangolquí-Ecuador: Escuela Politécnica del Ejército.
- Cefla Finishing Group. (2010). *Prima by Cefla Finishing*. Obtenido de <http://www.ceflafinishinggroup.com/es/productos/prima?process=barnizado&category=pulverizadoras&brand=>
- Charles R, M., & Joseph E, S. (2002, pp. 326-1183). *Diseño en Ingeniería Mecánica (Sexta edición)*. México, D.F: Mc Graw Hill: Sangolquí-Ecuador: Escuela Politécnica del Ejército.

CHELIC PNEUMATIC EQUIPMENTS. (2013). *AIR CYLINDERS*. Obtenido de <http://www.chelic.com/eng/products/AC/MRU.php>

Craig, J. R. (2003). *Mecánica de Materiales*. Mexico: Compañía Editorial Continental.

De la Hoz Cubas, L., Dóvalos Pérez, M., & García Rodríguez, F. (2008). Estudio de las características de un motor de corriente continua. Barranquilla, Colombia: Universidad del Norte.

Echeverría, L. (s.f.). *Insdecem webcindario*. Obtenido de Practicas de laboratorio de Instrumentación Mecatronica ESPE: Recuperado de <http://insdecem.webcindario.com/archivos.html>

Electronicasi.com. (2013). *Electronicasi.com*. Obtenido de Aprenda practicando / fotodetector: <http://www.electronicasi.com/enseanzas/electronica-elemental/aprender-electronica-practicando/aprende-practicando-fotodetector/>

Escalera Tornero, M. J., & Rodríguez Fernández, A. J. (10 de 2010). *Actuadores neumáticos*. Obtenido de <http://www.uhu.es/rafael.sanchez/ingenieriamaquinas/carpetaapuntes.htm/Trabajos%20IM%202009-10/Manuel%20Jesus%20Esacalera-Antonio%20Rodriguez-Actuadores%20Neumaticos.pdf>

Ferdinand P , & Russell E. (1993, pp. 297-701). *Mecánica de Materiales* (Segunda Edición). Santa Fe de Bogotá, Colombia: Mc Graw Hill. Sangolquí-Ecuador: Escuela Politécnica del Ejército.

Ferreyra, I. (24 de 08 de 2012). *Instrumental y Control*. Obtenido de Sistemas neumáticos: [http://ivanferreyra-colon.blogspot.com/2012/08/sistemas-neumaticos-definicion\\_24.html](http://ivanferreyra-colon.blogspot.com/2012/08/sistemas-neumaticos-definicion_24.html)

Festo. (s.f.). *scribd*. Obtenido de Waller D., Werner H., “Neumática”, “Electro neumática”, Festo Pneumatics, 1997.(pag. 127): <http://www.scribd.com/doc/37725147/didactic-katalog-02-03-es>

Funes. (20 de 08 de 2012). *Electronic Funes*. Obtenido de Motores: <http://electronicfunes.blogspot.com/>

Giliberto Hnos. S.A. (2014). *Productos / Chapas / Chapas acanaladas*. Obtenido de [http://www.gilibertohnos.com.ar/chapas\\_acanaladas.php?m=3](http://www.gilibertohnos.com.ar/chapas_acanaladas.php?m=3)

- Grab CAD. (2013). *Electrical resistance finned (2500 Watts)*. Obtenido de <https://grabcad.com/library/electrical-resistance-finned-2500-watts>
- Grupo Arlam. (2012). *¿Qué es la lámina galvanizada?* Obtenido de <http://www.arlam.com.mx/%C2%BFque-es-la-lamina-galvanizada/>
- Guevara Guevara, G., & Montoya Morales, E. (2007). *Rediseño del reductor principal del horno de la empresa cementos selva alegre*. Quito, Ecuador: EPN.
- Hanyoung Nux Co., Ltd. (2015). *Proximity Sensor*. Obtenido de [http://hanyoungnux.en.ec21.com/Proximity\\_Sensor--3047131\\_3047151.html](http://hanyoungnux.en.ec21.com/Proximity_Sensor--3047131_3047151.html)
- Hibberler, R. (2004, pp.114 - 117). *Mecánica Vectorial para ingenieros. Estática*. México: Pearson Educación. Sangolquí-Ecuador: Escuela Politécnica del Ejército.
- Interroll. (06 de 2011). *Rodillos Transportadores*. Obtenido de [http://www.interroll.com/media/editorial\\_media/interroll\\_group/downloads/antriebe\\_foerderrollen/drivers\\_rollers/conveyor\\_rollers\\_catalogue/foerderrollen\\_katalog\\_2013/FR\\_ES\\_2013\\_WEB.pdf](http://www.interroll.com/media/editorial_media/interroll_group/downloads/antriebe_foerderrollen/drivers_rollers/conveyor_rollers_catalogue/foerderrollen_katalog_2013/FR_ES_2013_WEB.pdf)
- Itescam. (2002). *Aire comprimido*. Obtenido de <http://www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r69440.PDF>
- Jocar Transmisiones. (2013). *SOPORTES CON RODAMIENTO*. Obtenido de <http://www.jocartransmisiones.com/PDF%27s/15-Soportes%20con%20rodamiento.pdf>
- La Casa del Perno. (s.f.). *Resistencia de Pernos y Tuercas*. Obtenido de [http://www.casadelperno.com/AyudaTecnica\\_Resistencia.html](http://www.casadelperno.com/AyudaTecnica_Resistencia.html)
- Loiola Zubia, I. (Diciembre de 2001). *Autómatas Programables*. Obtenido de *Autómatas Programables*: <http://www.sc.ehu.es/sbweb/webcentro/automatica/WebCQMH1/PAGINA%20PRINCIPAL/PLC/plc.htm>
- Maquinarias Henriques. (2014). *MOTORREDUCTORES Y REDUCTORES DE EJE LIBRE*. Obtenido de <http://maquinarias-henriques.com/index.php/transmision-potencia/motorreductores-y-reductores-de-eje-libre/90-siti-s-p-a>
- McGraw-Hill. (2014). *Motores eléctricos*. Obtenido de <http://www.mcgraw-hill.es/bcv/guide/capitulo/8448173104.pdf>
- MD Desing. (2010). *Software de diseño mecánico. Diseño de ejes y chavetas*.



MECALUX logismarket. (2013). *Router CNC 3D*. Obtenido de <http://www.logismarket.com.ar/difra-cnc/router-cnc-3d/2154263588-1449253222-p.html>

Mecanizados Villarreal. (2015). *Sistemas de transporte pesado - Palets*. Obtenido de [http://www.mecanizadosvillarreal.com/71128\\_es/Automatizaci%C3%B3n-de-sistemas-de-transporte-pesado/](http://www.mecanizadosvillarreal.com/71128_es/Automatizaci%C3%B3n-de-sistemas-de-transporte-pesado/)

Micno. (2013). Micno KE300. *Catálogo Técnico Micno*.

Monografias. (26 de julio de 2009). *Sistema de Producción y Transporte de Aire Comprimido*. Obtenido de <http://www.monografias.com/trabajos66/sistema-transporte-aire-comprimido/sistema-transporte-aire-comprimido2.shtml>

Nicholson, J. (2014). *eHow en Español*. Obtenido de [http://www.ehowenespanol.com/funciona-pistola-pintura-como\\_103244/](http://www.ehowenespanol.com/funciona-pistola-pintura-como_103244/)

Oriental Motor General Catalog. (Sin día de Sin mes de Sin año). *Stepping Motors*. Recuperado el 25 de Junio de 2013, de Stepping Motors: [http://www.orientalmotor.com/products/pdfs/2012-2013/G/usa\\_tech\\_product.pdf](http://www.orientalmotor.com/products/pdfs/2012-2013/G/usa_tech_product.pdf)

Popov Egor P. (1990, pp. 55-567). *Mecánica de Materiales (Segunda Edición)*. México D.F: Limusa Noriega. Sangolquí-Ecuador: Escuela Politécnica del Ejército.

Portaleso. (2011). *Neumatica*. Obtenido de [http://www.portaleso.com/usuarios/Toni/web\\_neumatica/neumatica\\_indice.html](http://www.portaleso.com/usuarios/Toni/web_neumatica/neumatica_indice.html)

Porten. (2015). Catálogo Técnico Porten PCO-5300. *Catálogo Técnico Porten*.

PROVIACEROS Cia. Ltda. (16 de 01 de 2013). *Angulos estructurales*. Obtenido de <http://www.proviaceros.com/angulos-estructurales.html>

PROVIACEROS Cia. Ltda. (16 de 01 de 2013). *Tubería Estructural e Industria*. Obtenido de <http://www.proviaceros.com/tuberias.html>

Quiroz, J. d. (14 de 02 de 2012). *Scribd*. Obtenido de Sensor óptico: <http://es.scribd.com/doc/81546437/SENSORES-OPTICOS>

R.C Hibbeler. (2006, p. 297). *Mecánica De Materiales (Sexta Edición)*. Naucalpan de Juárez, Edo., México: Pearson Education. Sangolquí-Ecuador: Escuela Politécnica del Ejército.

RENOLD. (2008). Renold Selector para transmisiones por cadema.

Rich Star. ( 2012). HVLP/Conventional Series. *Star SPRAY GUN*.

Roldan V. (2002, pp. 1/11-1//13). Neumática, Hidráulica y electricidad aplicada. (*Décima Edición – Segunda Reimpresión*). España: Thomson Paraninfo. Sangolquí-Ecuador: Escuela Politécnica del Ejército.

Ruiz Rojas, P. A. (2010). Máquinas Rociadoras. *Revista M&M*, 69.

Ruiz Rojas, P. A. (2010). Máquinas Rociadoras. *Revista M&M*, 69-70.

Sagola. (2013). INFRARED STATION. *CATÁLOGO PROFESIONAL INFRARROJOS*, 1-7.

Shaw , D. (2014). *eHow en Español*. Obtenido de [http://www.ehowenespanol.com/configurar-pistolas-pulverizadoras-automaticas-como\\_99330/](http://www.ehowenespanol.com/configurar-pistolas-pulverizadoras-automaticas-como_99330/)

Siemens AG. (2015). *Industry Mall*. Obtenido de Product catalogue: <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Product/6EP1331-1SH03>

SUMAKE. (2014). *Tanque de pintura de aire*. Obtenido de <http://es.sumake.com/at-10e.html>

Surmaq. (2013). *Pistolas automáticas*. Obtenido de <http://www.surmaq.com/pistolaut.html>

The American Chain Association. (12 de 2001). *ACA*. Obtenido de Improved Power Ratings: <http://www.mpta.org/Power%20Ratings%20122001R1.pdf>

ULA. (2010). *ELEMENTOS DE MAQUINAS II*. Obtenido de ELEMENTOS DE UNION ROSCADOS: <http://www2.ula.ve/dsiportal/dmdocuments/elementos/TORNILLOS.pdf>

Universidad Nacional de Quilmes. (s.f.). *Introducción a la HMI*. Obtenido de <http://iaci.unq.edu.ar/materias/laboratorio2/HMI%5CIntroduccion%20HMI.pdf>

Wikipedia. (2007). *Resistencia calentadora*. Obtenido de [http://es.wikipedia.org/wiki/Resistencia\\_calentadora](http://es.wikipedia.org/wiki/Resistencia_calentadora)

Wikipedia. (2014). *Wikipedia*. Obtenido de [http://es.wikipedia.org/wiki/Transportador\\_de\\_rodillos](http://es.wikipedia.org/wiki/Transportador_de_rodillos)

Xinje Electronic Co.,Ltd. (2008). XP/XMP-18 series. *Integral industrial controller Operating manual* , 1-45.

Xinje, E. C. (2012). Catalog. *XINJE Catalog*, 26.

# ANEXOS

## LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA AUTOMÁTICA PULVERIZADORA DE PINTURA EN CHAPAS GALVANIZADAS ACANALADAS PARA LA EMPRESA CONSTRUCCIONES METALMECÁNICAS”

ELABORADO POR:



Fredy Javier  
Villalba Acurio

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA



Ing. Francisco Terneus  
Dir. Carrera de Ingeniería Mecatrónica