



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

## **DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECÁNICA**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTROMECÁNICA**

**AUTORES: ESPIN ALDAZ JAVIER ROBERTO  
GUANOLUISA BRAVO WILSON FABIÁN**

**TEMA: “DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE  
UNA CABINA DE PINTURA CLIMATIZADA PARA ACABADOS  
DE MODULARES DE MADERA PARA LA MUEBLERÍA EL PINO”**

**DIRECTOR: ING. WILLIAM, BONILLA.  
CODIRECTOR: ING. EDWIN, PRUNA.**

**LATACUNGA, MAYO 2014**

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE.  
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECHANICA**

**CERTIFICADO.**

**ING. WILLIAM BONILLA (DIRECTOR).**

**ING. EDWIN PRUNA (CODIRECTOR).**

**CERTIFICAN:**

Que el trabajo titulado “**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE UNA CABINA DE PINTURA CLIMATIZADA PARA ACABADOS DE MODULARES DE MADERA PARA LA MUEBLERÍA EL PINO**” realizado por los señores: ESPIN ALDAZ JAVIER ROBERTO y GUANOLUISA BRAVO WILSON FABIÁN ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas establecidas por la ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE

Debido a que constituye un trabajo de excelente contenido científico que coadyuvará a la aplicación de conocimientos y al desarrollo profesional, SI recomienda su publicación.

El mencionado trabajo consta de Un empastado y Un disco compacto el cual contiene los archivos en formato portátil de Acrobat. Autoriza a los señores: Javier Roberto Espin Aldaz y Wilson Fabián Guanoluisa Bravo, que lo entreguen al Ing. Wilson Sanchez O., en su calidad de Director de Carrera

**LATACUNGA, MAYO DEL 2014.**

-----

Ing. William Bonilla.

DIRECTOR DE PROYECTO

-----

Ing. Edwin Pruna.

CODIRECTOR DE PROYECTO

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE.  
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECHANICA.**

**DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD.**

Nosotros, **ESPIN ALDAZ JAVIER ROBERTO.**  
**GUANOLUISA BRAVO WILSON FABIAN.**

**DECLARAMOS QUE:**

El proyecto de grado “**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE UNA CABINA DE PINTURA CLIMATIZADA PARA ACABADOS DE MODULARES DE MADERA PARA LA MUEBLERÍA EL PINO**” ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

**LATACUNGA, MAYO DEL 2014.**

-----  
ESPIN ALDAZ JAVIER.

-----  
GUANOLUISA BRAVO WILSON.

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE.  
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECHANICA.**

**AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN.**

Nosotros, **ESPIN ALDAZ JAVIER ROBERTO.**  
**GUANOLUISA BRAVO WILSON FABIAN.**

**AUTORIZAMOS.**

A la Escuela Politécnica del Ejército la publicación, en la biblioteca virtual y/o revista de la Institución nuestro trabajo “**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE UNA CABINA DE PINTURA CLIMATIZADA PARA ACABADOS DE MODULARES DE MADERA PARA LA MUEBLERÍA EL PINO**” cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

**LATACUNGA, MAYO DEL 2014.**

-----  
ESPIN ALDAZ JAVIER.

C.I No 180339977-1

-----  
GUANOLUISA BRAVO WILSON.

C.I No 050267147-2

## AGRADECIMIENTO.

Quiero expresar mis agradecimientos:

Primeramente quiero agradecer a **DIOS** por darme salud y vida para poder culminar mi carrera y llenarles de felicidad a los seres que siempre han estado a mi lado apoyándome.

A mis **PADRES**, Roberto y Jeaneth seres a quienes respeto, valoro y amo mucho ya que siempre fueron mi apoyo en las buenas y en las malas, siempre supieron darme buenos consejos para poder salir adelante y nunca rendirme, gracias los amo con todo mi ser

A mi hermano **PAUL** por apoyarme incondicionalmente ya que fue mi motivación para darle un buen ejemplo de valor y superación tanto personal como profesional.

A mi **FAMILIA**, quienes siempre creyeron en mí y me ayudaron para poder ser un ejemplo en esta familia tan maravillosa que siempre estuvieron pendiente de mí.

A mi amor **ALEXITA** por ser mi apoyo en los momentos de tristeza y felicidad, por brindarme ánimo, paciencia, comprensión, te amo mucho mi reina preciosa.

Mi respeto y gratitud a mis dirigentes de tesis **Ing. William Bonilla e Ing. Edwin Pruna** en la cual siempre me dieron buenos consejos, paciencia, conocimiento para poder realizar esta tesis con gran éxito.

Gracias a todos mis amigos que todo el tiempo vivimos momentos de risa, locura, aprendizaje, gracias por ser unos amigos sinceros

**JAVIER ESPIN ALDAZ**

## **AGRADECIMIENTO.**

A mis padres, porque creyeron en mí y supieron sacaron adelante, dándome ejemplos dignos de superación y entrega, porque en gran parte gracias a ustedes, hoy puedo ver alcanzada mi meta, ya que siempre estuvieron impulsándome en los momentos más difíciles de mi carrera a mi hermano, y todas las personas que ayudaron a crecer como persona.

Gracias por haber fomentado en mí el deseo de superación y el anhelo de triunfo en la vida. Quiero agradecer su apoyo, su comprensión y sus consejos en los momentos difíciles. A todos, espero no defraudarlos y contar siempre con su valioso apoyo, sincero e incondicional.

***WILSON GUANOLUISA BRAVO***

## **DEDICATORIA.**

**La presente tesis la dedico con todo amor y cariño.**

A **DIOS** por darme la oportunidad de vivir, por darme la fuerza para lograr mis objetivos y por la familia maravillosa que tengo.

A mis **PADRES** Jeaneth y Roberto por ser un ejemplo para mí, ya que son muy trabajadores y por darme todo lo mejor que existe en esta vida mi educación y con esto culminar mi carrera. Gracias Padre por darme tus consejos sinceros y por hacerme un hombre de bien y por emigrar a otras tierras para poder sustentar esta educación que es tan valorada ya que su esfuerzo no fue en vano y logre mi éxito de superación. Especialmente a ti mamita por ser el pilar fundamental de mi vida por tu paciencia y amor ¡**Gracias por ser los mejores padres del mundo, los Amo!**

A mi **Hermano** Paulito por estar siempre a mi lado y contar con él para todo momento que le necesite.

A mi **Esposa** Alexita por creer en mí, por darme el apoyo que necesitaba en todo momento y esperar que culmine mi carrera con éxito.

A mi familia gracias por la confianza que siempre nos hemos tenido; por el apoyo, amistad, comprensión y cariño mutuo de todos. A mi abuelito que está en el cielo quien siempre me impartió consejos para hacer de mí una mejor persona.

Agradezco también a mis profesores ya que me impartieron los mejores conocimientos para hacer de mí un excelente profesional.

**JAVIER ESPIN ALDAZ.**

## **DEDICATORIA.**

Dedico este proyecto a dios y a mis padres por darme la vida. A dios porque ha estado conmigo a cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza para continuar, a mis padres, quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en cada momento. Depositando su entera confianza en cada reto que se me presentaba para poder salir adelante y así ser mejor cada día. Es por ello que soy lo que soy ahora. Los quiero mucho.

***WILSON GUANOLUISA BRAVO***



## RESUMEN.

El presente proyecto consiste en el DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE UNA CABINA DE PINTURA CLIMATIZADA PARA ACABADOS DE MODULARES DE MADERA PARA LA MUEBLERÍA EL PINO, la misma que tiene por finalidad pintar las puertas de manera automática y sin que el operario sufra lesiones y no este expuesto a gases tóxicos. En el sistema mecánico, el diseño de los componentes mecánicos se lo realizó de forma analítica y tecnológica utilizando el software SolidWorks 2013, de esta manera se verificó que estos elementos tengan un adecuado factor de seguridad y no fallen en el proceso. En el sistema neumático, el diseño se lo realizó considerando la presión, caudal para poder girar y pintar la puerta. En el sistema eléctrico, el diseño del circuito de control se lo realizará mediante componentes como finales de carrera, motores, etc. Para la programación del sistema automático se utiliza un PLC-HMI FP4030 que se lo hizo mediante programación Ladder. En el funcionamiento consiste en pintar las puertas con un sistema de pintado automático, se llena de pintura (laca) en el vaso de la pistola de pintura, para el pintado entra a funcionar un motor de A.C. que mueve el carro de forma longitudinal y pinta el modular en el sentido que se mueve, después entra a funcionar un segundo un motor de D.C. para mover el carro de forma trasversal y pinta el modular en el sentido que se mueve, Cuando ya está pintado la primera cara de la puerta entra un cilindro neumático que hace girar la misma en 180° y así empezamos con el mismo ciclo hasta que este pintado en su totalidad.

## **SUMMARY.**

This project consists of DESIGN, CONSTRUCTION AND AUTOMATION OF A CABIN HEATED PAINT FINISHES FOR WOOD MODULAR MUEBLERÍA PINO, it aims to paint the doors automatically and without operator injuries and no is exposed to toxic gases. In the mechanical system, the design of the mechanical components of the analytical and technological performed using SolidWorks 2013 form software thus verified that these elements have an adequate safety factor in the process will not fail. In the pneumatic system, the design was made by considering the pressure, flow to rotate and paint the door. In the electrical system, the design of the control circuit is made by components as limit switches, motors, etc. For automatic programming a PLC -HMI FP4030 that did Ladder is used programmatically. In operation involves painting the doors with an automatic wallpaper , paint fills ( paint) on the glass of the spray gun for painting hard to run an AC motor that moves the carriage longitudinally and paint modular in the sense that it moves, then comes to running a second, a DC motor to move the carriage transversally and paint modular in the sense that it moves, when it is already painted the first side of the door enters a pneumatic cylinder that rotates it 180 ° and so we started with the same cycle until this entirely painted .

## ÍNDICE GENERAL.

<b>CARÁTULA.</b> -----	<b>I</b>
<b>CERTIFICADO.</b> -----	<b>II</b>
<b>DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD.</b> -----	<b>III</b>
<b>AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN.</b> -----	<b>IV</b>
<b>AGRADECIMIENTO.</b> -----	<b>V</b>
<b>DEDICATORIA.</b> -----	<b>VII</b>
<b>RESUMEN.</b> -----	<b>IX</b>
<b>SUMMARY.</b> -----	<b>X</b>
<b>ÍNDICE GENERAL.</b> -----	<b>XI</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.</b> -----	<b>XX</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> -----	<b>XXV</b>
<b>ANEXOS.</b> -----	<b>XXVI</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> -----	<b>XXV</b>
<b>CAPÍTULO I.</b> -----	<b>1</b>
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA. -----	1
1.2. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.-----	1
1.3. OBJETIVOS. -----	2
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.-----	2
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.-----	2
1.4. ALCANCE Y METAS.-----	2
<b>CAPÍTULO II.</b> -----	<b>4</b>
<b>2.FUNDAMENTOS TEÓRICOS.</b> -----	<b>4</b>
2.1. ANTECEDENTES.-----	4
2.2. CABINA DE PINTURA.-----	4
2.2.1. INTRODUCCIÓN.-----	4
A . MODELO DE CABINAS DE PINTURA.-----	5
a.1. CABINAS PARA AUTOMÓVILES. -----	5
a.2. CABINAS MURALES PRESURIZADAS. -----	5
a.3. CABINAS AUTOMATIZADAS. -----	6

2.2.2.	PROCESOS Y MÉTODOS DE ACABADOS DE PINTURA. -----	6
	A. LOS PROCESOS DE PULVERIZACIÓN DE RECUBRIMIENTOS	
	LÍQUIDOS. -----	6
	B. RECUBRIMIENTOS ORGÁNICOS. -----	6
	C. MÉTODOS DE PINTADO. -----	7
	c.1. PINTURA ELECTROSTÁTICA. -----	7
	c.2. INMERSIÓN. -----	7
	c.3. RECUBRIMIENTO. -----	8
	D. VENTAJAS Y DESVENTAJAS. -----	8
	d.1. VENTAJAS. -----	8
	d.2. DESVENTAJAS. -----	8
2.2.3.	APLICACIONES. -----	9
	A. APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA DE LA MADERA. -----	9
	B. APLICACIONES EN LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ. -----	9
2.3.	COMPRESORES. -----	9
2.3.1.	TIPOS DE COMPRESORES. -----	10
	A. COMPRESORES DE ÉMBOLO. -----	10
	B. COMPRESOR DE MEMBRANA. -----	10
	C. COMPRESOR DE ÉMBOLO ROTATIVO. -----	11
2.4.	MOTORES ELÉCTRICOS. -----	11
2.4.1.	CLASIFICACIÓN DE LOS MOTORES ELÉCTRICOS. -----	12
2.4.2.	USOS. -----	13
	A. CAMBIO DE SENTIDO DE GIRO. -----	13
	B. REGULACIÓN DE VELOCIDAD. -----	13
2.5.	VENTILADORES. -----	14
2.5.1.	TIPOS DE VENTILADORES. -----	14
	A. VENTILADORES AXIALES. -----	14
	a.1. VENTILADORES DE PROPULSIÓN. -----	15
	a.2. VENTILADORES CON ENVOLVENTE. -----	15
	a.3. VENTILADORES MURALES. -----	15
	B. VENTILADORES CENTRÍFUGOS. -----	16
2.6.	SENSORES. -----	17
2.6.1.	SENSORES PARA TEMPERATURA. -----	17
	A. SENSORES DE TEMPERATURA CON TERMOPARES. -----	17

B. sensores de temperatura resistivos.-----	19
2.7. ACCESORIOS NEUMÁTICOS.-----	19
2.7.1. VÁLVULAS NEUMÁTICAS.-----	19
A. VÁLVULAS DE DISTRIBUCIÓN.-----	20
B. VÁLVULAS DE BLOQUEO.-----	20
C. VÁLVULAS REGULADORAS.-----	21
D. VÁLVULAS SECUENCIALES.-----	21
2.7.2. TUBERÍAS NEUMÁTICAS.-----	22
2.7.3. LUBRICADOR DE ACEITE ATOMIZADO.-----	23
2.7.4. CILINDROS NEUMÁTICOS.-----	23
2.8. ACCESORIOS ELÉCTRICOS.-----	24
2.8.1. CABLES ELÉCTRICOS.-----	24
2.8.2. CANALIZACIONES ELÉCTRICAS.-----	25
2.8.3. TABLEROS DE DISTRIBUCIÓN.-----	25
2.9. CONTROLADORES.-----	26
2.9.1. INTRODUCCIÓN.-----	26
2.9.2. MICRO-CONTROLADORES.-----	26
2.9.3. DESCRIPCIÓN DE LOS PLC'S.-----	27
2.9.4. ARQUITECTURA INTERNA DEL PLC.-----	27
2.9.5. CAMPOS DE APLICACIÓN DE LOS PLC'S.-----	28
2.9.6. LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN.-----	28
2.9.7. PROGRAMACIÓN.-----	29
A. LENGUAJE LADDER.-----	29
2.10. ELEMENTOS DE CONTROL Y PROTECCIÓN.-----	30
2.10.1. APARATOS DE MANIOBRA.-----	30
A. APARATOS DE MANIOBRA MANUALES.-----	30
a.1. LOS INTERRUPTORES.-----	31
a.2. PULSADORES.-----	31
B. APARATOS DE MANIOBRA AUTOMÁTICOS-----	32
2.10.2. APARATOS DE PROTECCIÓN.-----	32
A. FUSIBLES.-----	33
B. RELÉ.-----	33
<b>CAPÍTULO III.-----</b>	<b>34</b>
<b>3.DISEÑO MECÁNICO, NEUMÁTICO Y TÉRMICO DE LA CABINA.-----</b>	<b>34</b>

3.1.	INTRODUCCIÓN.-----	34
3.2.	PARÁMETROS DE DISEÑO MECÁNICO.-----	34
3.3.	ESQUEMA CONCEPTUAL PRELIMINAR DEL SISTEMA DE PINTADO DE PUERTAS.-----	35
3.4.	DISEÑO DEL SISTEMA PARA SUJECIÓN Y MOVIMIENTO TRANSVERSAL DE LAS PISTOLAS DE PINTAR.-----	37
3.4.1.	DISEÑO DEL BRAZO DE SUJECIÓN.-----	38
	A. DETERMINACIÓN DE CARGAS.-----	38
	B. ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN EL BRAZO DE SUJECIÓN.-----	39
	b.1. INFORME DE SOLIDWORKS.-----	39
3.4.2.	DISEÑO DEL PIÑÓN PARA EL BRAZO DE SUJECIÓN.-----	41
	A. DETERMINACIÓN DE CARGAS.-----	42
	B. ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN EL PIÑÓN.-----	44
	b.1. INFORME DE SOLIDWORKS.-----	44
3.4.3.	DISEÑO DE LA CREMALLERA PARA EL BRAZO DE SUJECIÓN.-----	46
	A. DETERMINACIÓN DE CARGAS.-----	46
	B. ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN LA CREMALLERA.-----	46
	b.1. INFORME DE SOLIDWORKS.-----	46
3.4.4.	DISEÑO DEL EJE DEL BRAZO DE SUJECIÓN.-----	48
	A. DETERMINACIÓN DE CARGAS.-----	48
	B. ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN EL EJE.-----	49
	b.1. INFORME DE SOLIDWORKS.-----	50
3.5.	DISEÑO DEL SISTEMA DE MOVIMIENTO TRANSVERSAL.-----	52
3.5.1.	DETERMINACIÓN DE CARGAS.-----	52
3.5.2.	SELECCIÓN DEL HUSILLO A BOLAS DEL MOVIMIENTO TRANSVERSAL.-----	53
3.5.3.	DISEÑO DE LAS GUÍAS DEL MOVIMIENTO TRANSVERSAL.-----	57
	A. DETERMINACIÓN DE CARGAS.-----	57
	B. ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN LAS GUÍAS.-----	57
	b.1. INFORME DE SOLIDWORKS.-----	59
3.5.4.	SELECCIÓN DE LOS RODAMIENTOS LINEALES TRANSVERSALES.-----	61
3.5.5.	DISEÑO DEL CARRO DE MOVIMIENTO TRANSVERSAL-----	63
	A. DETERMINACIÓN DE CARGAS.-----	63

	B. ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN EL CARRO TRANSVERSAL. -----	64
	b.1. INFORME DE SOLIDWORKS. -----	64
3.6.	DISEÑO DEL SISTEMA PARA EL MOVIMIENTO LONGITUDINAL DE LAS PISTOLAS DE PINTAR. -----	66
3.6.1.	DISEÑO DEL CARRO DE MOVIMIENTO LONGITUDINAL. -----	67
	A. DETERMINACIÓN DE CARGAS. -----	67
	B. ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN EL CARRO LONGITUDINAL. -----	68
	b.1. INFORME DE SOLIDWORKS. -----	68
3.6.2.	DISEÑO DEL SISTEMA DE MOVIMIENTO LONGITUDINAL. -----	70
	A. DETERMINACIÓN DE CARGAS. -----	70
3.6.3.	DISEÑO DE LAS GUÍAS LONGITUDINALES. -----	71
	A. DETERMINACIÓN DE CARGAS. -----	71
	B. ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN LAS GUÍAS LONGITUDINALES. --	71
	b.1. INFORME DE SOLIDWORKS. -----	72
3.6.4.	SELECCIÓN DE LOS RODAMIENTOS LINEALES LONGITUDINAL---	74
3.6.5.	SELECCIÓN DE LA TRANSMISIÓN DE RUEDA DENTADA Y CADENA. -----	76
3.6.6.	DISEÑO EJE PARA TRANSMISIÓN DEL MOVIMIENTO LONGITUDINAL. -----	78
	A. DETERMINACIÓN DE CARGAS. -----	78
	B. ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN LAS GUÍAS. -----	79
3.7.	DISEÑO DEL SISTEMA DE SUJECIÓN Y GIRO DE LA PUERTA-----	80
3.7.1.	DISEÑO DE LA VIGA SOPORTE DE LA PUERTA. -----	81
	A. DETERMINACIÓN DE CARGAS. -----	81
	B. INFORME DE SOLIDWORKS. -----	82
3.8.	DISEÑO DE LA ESTRUCTURA BASE. -----	84
3.8.1.	INFORME DE SOLIDWORKS. -----	84
3.9.	DISEÑO NEUMÁTICO. -----	86
3.9.1.	DISEÑO DEL SISTEMA DE ACCIONAMIENTO NEUMÁTICO. -----	86
3.9.2.	MODELADO Y SIMULACIÓN DEL CIRCUITO NEUMÁTICO-----	88
	A. FLUIDSIM NEUMATICA. -----	88
	B. CIRCUITO NEUMÁTICO. -----	88
3.10.	DISEÑO TÉRMICO DE LA CABINA DE PINTURA. -----	93
3.10.1.	PARÁMETROS DE DISEÑO. -----	93

3.10.2. CÁLCULO DEL CAUDAL Y FLUJO MÁSSICO DE AIRE NECESARIO. --	95
3.10.3. PÉRDIDAS DE PRESIÓN POR FRICCIÓN-----	96
3.10.4. SELECCIÓN DEL VENTILADOR-----	97
3.10.5. CÁLCULO DE LOS REQUERIMIENTOS DE CALOR DE LA CABINA ---	97
3.10.6. CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS DE CALOR -----	99
3.10.7. CÁLCULO DE LA POTENCIA DE CALENTAMIENTO -----	101
<b>CAPÍTULO IV. -----</b>	<b>102</b>
<b>4.DISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO DE LA</b>	
<b>CABINA.-----</b>	<b>102</b>
4.1. CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA	
ELÉCTRICO DE LA CABINA. -----	102
4.2. SELECCIÓN DE SELECTORES, PULSADORES Y FUSIBLES. -----	104
4.2.1. SELECCIÓN DEL SELECTOR. -----	104
4.2.2. PULSADOR TIPO HONGO. -----	105
4.3. SELECCIÓN DE RELÉS AUXILIARES, FINALES DE CARRERA	
Y FUENTES DE DC.-----	106
4.3.1. SELECCIÓN DE RELÉS AUXILIARES.-----	106
4.3.2. FINALES DE CARRERA.-----	107
4.3.3. SELECCIÓN DE LA FUENTE DE CORRIENTE CONTINUA. -----	107
4.4. RIEL DIN Y CANALETA. -----	109
4.5. SELECCIÓN DEL CONDUCTOR ELÉCTRICO. -----	110
4.5.1. SELECCIÓN DE CONDUCTORES PARA LOS MOTORES. -----	110
A. MOTOR DE MOVIMIENTO LONGITUDINAL. -----	110
B. MOTOR DE MOVIMIENTO TRANSVERSAL. -----	111
4.5.2. SELECCIÓN DE CONDUCTORES PARA CALEFACTOR-----	112
4.5.3. SELECCIÓN DE CONDUCTORES PARA LA LUMINARIA. -----	113
4.5.4. SELECCIÓN DE CONDUCTORES PARA LOS DISPOSITIVOS DE	
CONTROL. -----	114
A. RELÉS.-----	114
B. ELECTROVÁLVULAS. -----	114
C. PLC. -----	114
D. ALIMENTADOR GENERAL. -----	115
4.5.5. DIMENSIONAMIENTO DE LAS PROTECCIONES. -----	115
A. SELECCIÓN DE LA PROTECCIÓN PRINCIPAL. -----	115



B. PROTECCIÓN DE LAS DERIVACIONES.-----	116
b.1. CALEFACTOR.-----	116
b.2. MOTORES.-----	116
b.3. RELÉS Y ELECTROVÁLVULAS.-----	117
b.4. PLC.-----	118
b.5. SIMULACIÓN DEL CIRCUITO DE POTENCIA.-----	118
4.5.6. SELECCIÓN DEL PLC RENU FP4030.-----	119
<b>CAPÍTULO V.-----</b>	<b>120</b>
<b>5.CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE.-----</b>	<b>120</b>
5.1.  CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DE LA ESTRUCTURA.-----	120
5.2.  MONTAJE DEL CILINDRO DE GIRO DE LA PUERTA.-----	121
5.3.  CONSTRUCCIÓN DE LOS CARROS LONGITUDINALES Y TRANSVERSAL.-----	121
5.4.  MONTAJE DE RODAMIENTOS LINEALES EN LOS CARROS.-----	122
5.5.  MONTAJE DE LOS RIELES DE SUJECIÓN DE CARROS LONGITUDINALES.-----	122
5.6.  MONTAJE DE LOS RIELES DE SUJECIÓN DEL CARRO TRANSVERSAL.-----	123
5.7.  MONTAJE DE LAS CATALINAS PARA EL MOVIMIENTO LONGITUDINAL.-----	123
5.8.  MONTAJE DEL HUSILLO A BOLAS.-----	124
5.9.  MONTAJE DE CILINDRO NEUMÁTICO DE GIRO DE LA PISTOLA---	125
5.10. MONTAJE DE LA PISTOLA Y EL ENVACE DE PINTURA.-----	126
5.11. MONTAJE DE LOS MOTORES DE MOVIMIENTO TRANVERSAL Y LONGITUDINAL.-----	127
5.12. MONTAJE DE LOS DUCTOS NEUMÁTICOS.-----	128
5.13. CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DEL SOPORTE PARA AJUSTE DEL TAMAÑO DE LA PUERTA.-----	129
5.14. MONTAJE DE LOS MICROS SWITCH E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO.-----	130
5.14.1. MONTAJE DE LOS MICROS SWITCH.-----	131
5.14.2. CABLEADO ELÉCTRICO DE LOS MICROS SWITCH.-----	132
5.15. MONTAJE DEL TABLERO DE CONTROL.-----	132
5.16. MONTAJE DE BORNERAS, RIEL DIN Y CANALETAS.-----	133

5.17.	CIRCUITO DE FUERZA.-----	133
5.18.	CIRCUITO DE CONTROL-----	134
5.19.	CONSTRUCCIÓN DE LA CABINA DE PINTURA. -----	135
5.20.	MONTAJE DEL CALEFACTOR CON EL CONTROL DE TEMPERATURA.-- -----	136
5.21.	IMPLEMENTACIÓN DEL PLC-HMI SELECTOR Y PARO DE EMERGENCIA.-----	136
5.22.	PROGRAMACIÓN DEL PLC-HMI RENU FP 4030. -----	137
5.23.	PROGRAMACIÓN DEL CIRCUITO DE CONTROL. -----	137
5.24.	PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.-----	145
5.24.1.	PRUEBA DE OPERACIÓN DEL SISTEMA NEUMÁTICO. -----	145
	A. PRUEBAS DE ELECTROVÁLVULAS. -----	145
	B. PRUEBAS DE ACTUADORES NEUMÁTICOS. -----	146
	C. ACTUADOR DE GIRO DE PISTOLA. -----	146
	D. ACTUADOR DE GIRO DE LA PUERTA.-----	147
	E. PISTOLA NEUMÁTICA. -----	147
5.24.2.	PRUEBA DE OPERACIÓN DEL SISTEMA DE MECÁNICO. -----	148
	A. PRUEBAS EN LA ESTRUCTURA DE GIRO Y SUJECIÓN DE LA PUERTA. -----	148
	B. PRUEBAS DE MOVIMIENTO TRANSVERSAL. -----	149
	C. PRUEBAS DE MOVIMIENTO LONGITUDINAL.-----	150
5.24.3.	PRUEBA DE OPERACIÓN DEL SISTEMA DE ELÉCTRICO. -----	151
	A. PRUEBAS DE MICRO SWITCH. -----	151
	B. PRUEBAS DE COMUNICACIÓN.-----	152
	C. PRUEBAS DEL PANEL HMI.-----	153
5.25.	MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO -----	153
	<b>CAPÍTULO VI. -----</b>	<b>154</b>
	<b>6.ANÁLISIS FINANCIERO.-----</b>	<b>154</b>
6.1.	ANÁLISIS ECONÓMICO.-----	154
6.1.1.	ELEMENTOS MECÁNICOS. -----	154
6.1.2.	ELEMENTOS NEUMÁTICOS. -----	156
6.1.3.	ELEMENTOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS. -----	157
6.1.4.	COSTOS DE MAQUINADO.-----	159
6.1.5.	COSTO DIRECTO TOTAL. -----	159

6.1.6.	COSTOS INDIRECTOS. -----	159
6.1.7.	COSTO INDIRECTO TOTAL. -----	160
6.1.8.	COSTOS DE OPERACIÓN. -----	160
6.1.9.	GASTOS DE OPERACIÓN ANTES DE CONTRUIR LA MÁQUINA. ----	162
6.1.10.	COSTOS DE PRODUCCIÓN.-----	163
6.1.11.	GASTO TOTAL DE LA MÁQUINA.-----	163
6.2.	ESTRUCTURA DE FINANCIAMIENTO. -----	164
6.3.	INVERSIÓN DE INICIAL DE LA MÁQUINA. -----	164
6.4.	PROYECCIÓN DE LA INVERSIÓN PARA UN AÑO. -----	165
6.5.	FLUJO DE CAJA.-----	165
6.6.	PERIODO DE RECUPERACIÓN DEL CAPITAL.-----	166
6.6.1.	VALOR PRESENTE NETO (VPN).-----	166
6.6.2.	TASA INTERNA DE RETORNO (TIR).-----	168
6.6.3.	PERÍODO REAL DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN (PRI). ----	168
6.6.4.	RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN. -----	169
6.6.5.	RELACIÓN BENEFICIO - COSTO (RBC). -----	169
6.7.	INTERPRETACIÓN DEL ANÁLISIS FINANCIERO.-----	171
	<b>CAPÍTULO VII.</b> -----	<b>172</b>
<b>7.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.</b> -----	<b>172</b>
7.1.	CONCLUSIONES.-----	172
7.2.	RECOMENDACIONES.-----	174
	<b>BIBLIOGRAFÍA.</b> -----	<b>174</b>
	<b>NETGRAFÍA.</b> -----	<b>1747</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

### CAPÍTULO II

Figura 2.1.: Cabina para automóviles.-----	5
Figura 2.2.: Cabinas murales presurizadas. -----	5
Figura 2.3.: Cabinas automatizadas.-----	6
Figura 2.4.: Pintado electroestático. -----	7
Figura 2.5.: Pintado por inmersión. -----	7
Figura 2.6.: Pintado por recubrimiento.-----	8
Figura 2.7.: Compresor de émbolo oscilante.-----	10
Figura 2.8.: Compresor de membrana.-----	11
Figura 2.9.: Compresor de émbolo rotativo.-----	11
Figura 2.10: Partes de un motor eléctricos. -----	12
Figura 2.11: Ventiladores con envolvente. -----	15
Figura 2.12.: Ventiladores murales. -----	16
Figura 2.13.: Ventiladores centrífugos - montaje.-----	16
Figura 2.14.: Termocupla Tipo J. -----	18
Figura 2.15.: Válvula de distribución. -----	20
Figura 2.16.: Válvula de bloqueo.-----	20
Figura 2.17.: Válvula reguladora. -----	21
Figura 2.18.: Válvula secuencial. -----	22
Figura 2.19.: Diversos tipos de tuberías neumáticas.-----	22
Figura 2.20.: lubricador de aceite atomizado.-----	23
Figura 2.21.: Cilindro neumático. -----	23
Figura 2.22.: Cables eléctricos. -----	24
Figura 2.23.: Canalizaciones eléctricas. -----	25
Figura 2.24.: Tableros de distribución. -----	25
Figura 2.25.: Aspecto externo de un PLC's Siemens s7-1200.-----	27
Figura 2.26.: Lenguaje visual. -----	28
Figura 2.27.: Lenguaje escrito. -----	29
Figura 2.28.: Interruptor. -----	31
Figura 2.29.: Pulsadores. -----	31
Figura 2.30.: Interruptor automático.-----	32

Figura 2.31.: Fusibles.-----	33
Figura 2.32.: Estructura del relé.-----	33

### **CAPÍTULO III.**

Figura 3.1.: Esquema conceptual del sistema de pintado de puertas.-----	36
Figura 3.2.: Sistema para sujeción y movimiento transversal de las pistolas ----	37
Figura 3.3.: Cargas sobre el brazo de sujeción de las pistolas.-----	38
Figura 3.4.: Modelado 3D del brazo de sujeción de las pistolas.-----	39
Figura 3.5.: Tensión de Von Mises generado en el brazo de sujeción.-----	40
Figura 3.6.: Desplazamiento resultante en el brazo de sujeción.-----	40
Figura 3.7.: Factor de diseño para el brazo de sujeción.-----	41
Figura 3.8.: Cargas que actúan en el mecanismo piñón-cremallera.-----	43
Figura 3.9.: Tensión de Von Mises para el piñón.-----	44
Figura 3.10.: Desplazamiento resultante del piñón.-----	45
Figura 3.11.: Factor de diseño del piñón.-----	45
Figura 3.12.: Tensión de Von Mises de la cremallera.-----	47
Figura 3.13.: Desplazamiento resultante de la cremallera.-----	47
Figura 3.14.: Factor de diseño de la cremallera.-----	48
Figura 3.15.: Cargas que actúan en el eje del brazo de sujeción.-----	49
Figura 3.16.: Tensión de Von Mises del eje del brazo de sujeción.-----	51
Figura 3.17.: Desplazamiento resultante del eje del brazo de sujeción.-----	51
Figura 3.18.: Factor de diseño del eje del brazo de sujeción.-----	52
Figura 3.19.: Cargas que actúan en el eje guía.-----	57
Figura 3.20.: Tensión de von mises en el eje guía transversal.-----	60
Figura 3.21.: Desplazamiento resultante en el eje guía transversal.-----	60
Figura 3.22.: Factor de diseño en el eje guía transversal.-----	61
Figura 3.23.: Tensión de von mises del carro transversal.-----	64
Figura 3.24.: Desplazamiento resultante del carro transversal.-----	65
Figura 3.25.: Factor de diseño del carro transversal.-----	65
Figura 3.26.: Sistema para el movimiento longitudinal de las pistolas.-----	66
Figura 3.27.: Cargas que actúan sobre el carro longitudinal.-----	67
Figura 3.28.: Tensión de Von Mises del carro longitudinal.-----	68

Figura 3.29.: Desplazamiento resultante del carro longitudinal.-----	69
Figura 3.30.: Factor de diseño del carro longitudinal.-----	69
Figura 3.31.: Cargas que actúan en cada guía longitudinal. -----	71
Figura 3.32.: Tensión de von mises en la guía longitudinal. -----	73
Figura 3.33.: Desplazamiento resultante en la guía longitudinal. -----	73
Figura 3.34.: Factor de diseño en la guía longitudinal. -----	74
Figura 3.35.: Cargas que actúan en el eje de transmisión.-----	79
Figura 3.36.: Sistema de sujeción y giro de la puerta. -----	80
Figura 3.37.: Carga sobre la viga soporte de la puerta. -----	81
Figura 3.38.: Tensión de Von Mises de la viga soporte de la puerta. -----	83
Figura 3.39.: Desplazamiento resultante de la viga soporte de la puerta. -----	83
Figura 3.40.: Factor de diseño de la viga soporte de la puerta. -----	84
Figura 3.41.: Tensión de von mises de la estructura.-----	85
Figura 3.42.: Desplazamiento resultante de la estructura.-----	85
Figura 3.43.: Factor de diseño de la estructura.-----	86
Figura 3.44.: Inicio del Sotware Festo FluidSIM.-----	89
Figura 3.45.: Selección de cilindros de doble efecto. -----	89
Figura 3.46.: Propiedades de los cilindros de doble efecto.-----	90
Figura 3.47.: Electroválvulas 5/2 y sus propiedades. -----	90
Figura 3.48.: Unidad de mantenimiento y sus propiedades. -----	91
Figura 3.49.: Compresor y sus propiedades. -----	91
Figura 3.50.: Diseño Neumático en Festo FluidSIM.-----	92
Figura 3.51.: Simulación del proyecto. -----	92
Figura 3.52.: Diseño eléctrico.-----	93

## **CAPÍTULO IV.**

Figura 4.1.: Selectores de dos posiciones. -----	105
Figura 4.2.: Interruptor tipo hongo. -----	105
Figura 4.3.: Relés auxiliares con base incluida. -----	106
Figura 4.4.: Finales de carrera.-----	107
Figura 4.5.: Fuente de corriente continua para el PLC. -----	108
Figura 4.6.: Fuente de corriente continua para el motor.-----	109

Figura 4.7.: Riel Din. -----	109
Figura 4.8.: Canaleta.-----	110
Figura 4.9.: Relés auxiliares con base incluida. -----	118
Figura 4.10.: Fusible para el Plc - Renu FP4030.-----	118
Figura 4.11.: PLC- RENU FP4030 -----	119

## **CAPÍTULO V.**

Figura 5.1.: Estructura de la máquina.-----	120
Figura 5.2.: Cilindro de giro de la puerta. -----	121
Figura 5.3.: Carros trasversales y longitudinal.-----	121
Figura 5.4.: Rodamientos lineales. -----	122
Figura 5.5.: Rieles longitudinales. -----	122
Figura 5.6.: Rieles trasversales.-----	123
Figura 5.7.: Catalinas para el movimiento longitudinal.-----	123
Figura 5.8.: Montaje catalina - chumacera a la estructura. -----	124
Figura 5.9.: Husillo a bolas. -----	124
Figura 5.10.: Rodamiento 6000 sobre el carro trasversal. -----	125
Figura 5.11.: Cilindro neumático - cremallera.-----	125
Figura 5.12.: Perno soldado al carro trasversal para el envase.-----	126
Figura 5.13.: Soporte para la pistola de pintura. -----	126
Figura 5.14.: Motor para movimiento trasversal.-----	127
Figura 5.15.: Motor para movimiento longitudinal.-----	127
Figura 5.16.: Actuador con tubería neumática de 6 mm.-----	128
Figura 5.17.: Electroválvulas.-----	128
Figura 5.18.: Pistola automática con tubería neumática de 12 mm.-----	129
Figura 5.19.: Unidad de mantenimiento. -----	129
Figura 5.20.: Soporte para ajuste de la puerta.-----	130
Figura 5.21.: Rodillos. -----	130
Figura 5.22.: Micros switch ubicados longitudinalmente. -----	131
Figura 5.23.: Micros switch ubicados trasversalmente.-----	131
Figura 5.24.: Rieles de cableado.-----	132
Figura 5.25.: Tablero de control. -----	132

Figura 5.26.: Riel Din y Canaletas. -----	133
Figura 5.27.: Borneras.-----	133
Figura 5.28.: Protección para el circuito de fuerza.-----	134
Figura 5.29.: Circuito de control. -----	135
Figura 5.30.: Construcción de la cabina de pintura.-----	135
Figura 5.31.: Calefactor con el control de temperatura. -----	136
Figura 5.32.: Tablero de control. -----	136
Figura 5.33.: PLC – HMI RENU FP4030-----	137
Figura 5.34.: Ventana de inicio - selección del modelo. -----	138
Figura 5.35.: Ventana de inicio, configuración. -----	138
Figura 5.36.: Pantalla de proyecto. -----	139
Figura 5.37.: Acceso a la pantalla de programación - Ladder. -----	139
Figura 5.38.: Pantalla de programación Ladder. -----	140
Figura 5.39.: Programa de prueba de entradas y salidas del PLC.-----	140
Figura 5.40.: Descarga del programa. -----	141
Figura 5.41.: Carga de la aplicación Ladder. -----	141
Figura 5.42.: Electroválvulas.-----	146
Figura 5.43.: Actuador de giro de la pistola. -----	146
Figura 5.44.: Actuador de giro de la puerta.-----	147
Figura 5.45.: Pistola neumática. -----	148
Figura 5.46.: Sujeción de la puerta. -----	149
Figura 5.47.: Carro de movimiento transversal. -----	149
Figura 5.48.: Carro de movimiento longitudinal.-----	151
Figura 5.49.: Pruebas en los micros switch. -----	152
Figura 5.50.: Conexión del PLC HMI con la PC. -----	152
Figura 5.51.: Pruebas del Panel HMI. -----	153



## ÍNDICE DE TABLAS

### CAPÍTULO II.

Tabla 2.1. Clasificación básica de las termocuplas.-----	18
Tabla 2.2: Características de los materiales usados para las RTD. -----	19
Tabla 2.3. Elementos básicos en Ladder. -----	29

### CAPÍTULO IV.

Tabla 4.1.: Características del selector.-----	104
Tabla 4.2.: Características del interruptor de emergencia. -----	105
Tabla 4.3.: Características del relé auxiliar. -----	106
Tabla 4.4.: Características del final de carrera. -----	107
Tabla 4.5.: Características de la fuente de voltaje DC.-----	108
Tabla 4.6.: Características de la fuente de voltaje DC.-----	109
Tabla 4.7.: Características breaker para protección principal.-----	116
Tabla 4.8.: Características breaker para el calefactor. -----	116
Tabla 4.9.: Características breaker para el motor.-----	117
Tabla 4.10.: Características del relé auxiliar. -----	117

### CAPÍTULO V.

Tabla 5.1.: Variables de entrada. -----	142
Tabla 5.2.: Variables de salida. -----	143
Tabla 5.3.: Screens y teclado numérico. -----	144
Tabla 5.4.: Tiempos en función de la frecuencia. -----	150

### CAPÍTULO VI.

Tabla 6.1.: Gastos de los elementos mecánicos. -----	154
Tabla 6.2.: Gastos de los elementos neumáticos. -----	156
Tabla 6.3.: Gastos de los elementos eléctricos y electrónicos.-----	157
Tabla 6.4.: Costos de maquinado.-----	159

Tabla 6.5.: Costo directo total.-----	159
Tabla 6.6.: Costos indirectos.-----	159
Tabla 6.7.: costos indirecto total. -----	160
Tabla 6.8.: Costos de producción.-----	163
Tabla 6.9. Gasto total. -----	163
Tabla 6.10.: Inversión inicial de la máquina. -----	164
Tabla 6.11.: Inversión total de laca anual.-----	165
Tabla 6.12.: Flujo de caja. -----	166
Tabla 6.13. Rango de valores límites para que el proyecto sea viable. -----	170
Tabla 6.14. Rango de valores obtenidos en el análisis financiero. -----	170

## **ANEXOS.**

### **ANEXO A: HUSILLO A BOLAS.**

**Anexo A-1:** Tipo de tuerca para el husillo a bolas.

**Anexo A-2:** Husillo a bolas PND.

**Anexo A-3:** Diámetros de husillo a bolas con tuerca.

### **ANEXO B: RODAMIENTOS LINEALES.**

**Anexo B-1:** Tipo de rodamiento lineal.

**Anexo B-2:** Factor de dureza, temperatura y carga del rodamiento

**Anexo B-3:** Factor de carrera y de vida del rodamiento.

**Anexo B-4:** Rodamiento lineal SKF Lbbr-20

### **ANEXO C: FACTOR DE SERVICIO DE UN MOTOR ELECTRICO.**

MOTOR BIFASICO MARCA ICME MODELO T63B4

### **Anexo D: CADENA DE TRANSMISIÓN.**

**Anexo D-1:** Tipo de cadena de transmisión.

**Anexo D-1:** Cadena de transmisión.

### **Anexo E: PERFIL DE LA ESTRUCTURA.**

**Anexo F: CILINDRO NEUMÁTICO.****Anexo G: SELECCIÓN DE COMPONENTES MARCA CAMSCO.****Anexo G-1:** Selectores de dos posiciones.**Anexo G-2:** Pulsador tipo hongo.**Anexo G-3:** Interruptor Termo-Magnético.**Anexo G-4:** Relés Auxiliares.**Anexo G-5:** Micro Switch.**Anexo H: CONDUCTORES ELÉCTRICOS.****Anexo H-1:** Conductor eléctrico tipo TFN.**Anexo H-2:** Conductor eléctrico tipo THHW.**Anexo I: SIMULACIÓN DE LOS MOTORES ELÉCTRICOS****Anexo I-1:** Diagrama eléctrico motor AC Bifasico-220v con el variador.**Anexo I-2:** Diagrama eléctrico motor CC de 24V.**Anexo J: CARACTERISTICAS TECNICAS DEL PLC-HMI FP4030.****PROGRAMACION DEL PLC-HMI FP4030.****Anexo J-1:** Características Plc-Hmi.**Anexo J-4:** Programación.**Anexo K: SOLDADURA.****Anexo K-1:** Electrodo recubiertos que se utiliza para soldar.**Anexo K-2:** Especificación de procedimiento de soldadura (WPS).**Anexo L: PLANOS CONSTRUCTIVOS.****Anexo M: REFERENCIAS.**

## **CAPÍTULO I.**

### **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

La mueblería “EL PINO” dedicada a la fabricación de modulares de madera para el hogar, cuenta con maquinaria acorde a su exigencia, en la cual el proceso de pintado es un punto principal para la realización del producto final. Por tal motivo la mueblería “EL PINO” tiene como propósito aumentar la calidad de los acabados en sus modulares ya que este proceso se lo realiza manualmente con dos o tres operadores ocasionando que no sea de buena calidad y el excesivo costo de producción, por lo cual se requiere automatizar dicho proceso para reducir la mano de obra, costos y mejorar los acabados finales.

### **1.2. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.**

Este proyecto tiene el propósito de automatizar el proceso de pintado en la fabricación de muebles, ayudando a los operarios a desarrollar su trabajo con mayor facilidad, de esta forma disminuirá el tiempo de producción, mano de obra y la exposición a gases tóxicos.

Dichas mejoras están relacionadas con el manejo de controladores lógicos programables (PLC) para el mejoramiento de este proceso.

El diseño de esta cabina de pintura es de vital importancia para mejorar la calidad de los terminados en los modulares, basándose en un proceso automático.

### **1.3. OBJETIVOS.**

#### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL.**

**“DISEÑAR, CONSTRUIR Y AUTOMATIZAR UNA CABINA DE PINTURA CLIMATIZADA PARA ACABADOS DE MODULARES DE MADERA PARA LA MUEBLERÍA EL PINO”.**

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

- Diseñar y seleccionar los componentes necesarios para la implementación de la cabina de pintura para modulares de madera.
- Implementar sensores de posición para el control del sistema.
- Determinar dispositivos electrónicos y eléctricos necesarios, para implementar el control del sistema.
- Diseñar el algoritmo de programación para automatizar el sistema de control por medio de PLC.
- Diseñar el sistema neumático de la cabina.
- Elaborar los planos mecánicos y eléctricos de la máquina para próximas aplicaciones.

#### **1.4. ALCANCE Y METAS.**

- Disminuir los tiempos de producción en el área de pintura.
- Mejorar el acabado superficial del producto final de los acabados de modulares de madera.
- Disminuir el consumo eléctrico.
- Disponer del cableado y la programación del PLC para el control del sistema.

- Obtener un sistema automático, el cual funcione a su mayor eficiencia.
- Poner a funcionar la cabina de pintura climatizada.

## **CAPÍTULO II.**

### **2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.**

#### **2.1. ANTECEDENTES.**

La mueblería “EL PINO” es una empresa con diez años de experiencia en el mercado, con la idea de satisfacer las necesidades y confort en los hogares más exigentes, con acabados de primera calidad en sus modulares.

En la actualidad la mayoría de las empresas dedicadas al negocio de fabricación de muebles, tienen un sistema muy rudimentario en el acabado de pintura, siendo este punto el más importante dentro de la fabricación, este sistema produce muchas pérdidas de pintura, acabados de baja calidad, el operario queda expuesto mucho tiempo a los gases que producen estos químicos. Además los acabados se realizan en lugares no propicios para este proceso con polvo o humedad, los mismos que pueden ser mejorados con la implementación de procesos más eficientes y automáticos.

Estos procesos automáticos se puede distinguir muchas variables que son controladas por diferentes elementos sean estos: eléctricos, electrónicos, mecánicos, térmicos, etc.

#### **2.2. CABINA DE PINTURA.** (Hagan, 2003)

##### **2.2.1. INTRODUCCIÓN.**

Las cabinas de pintura, como buena parte de la maquinaria se encuentran actualmente en la industria, ofrecen diferentes configuraciones con múltiples accesorios de acuerdo al trabajo a realizar.

## **a. MODELO DE CABINAS DE PINTURA.**

De acuerdo al funcionamiento y utilización se clasifican en:

### **a.1. CABINAS PARA AUTOMÓVILES.**

Se trata de recintos cerrados para el pintado de vehículos. Existen dos tipos fundamentales los sobres presionados, con un solo ventilador de impulsión y ninguno de extracción, las presurizadas. Ver figura 2.1.



**Figura 2.1.: Cabina para automóviles.**

**Fuente:** (Urrutia, 2010)

### **a.2. CABINAS MURALES PRESURIZADAS.**

Sin lugar a dudas es la mejor cabina para el pintado de muebles y materiales de buenos acabados. Pueden llevar también incorporado sistemas de calor. Ver figura 2.2.



**Figura 2.2.: Cabinas murales presurizadas.**

**Fuente:** (Urrutia, 2010)



### **a.3. CABINAS AUTOMATIZADAS.** (www.markmonitor.com, 2003)

Son las últimas innovaciones en el campo de las cabinas de pintura ya que reducen tiempos tanto de pintado como de secado para aumentar la producción, así como a emplear sistemas que permitan cuidar al máximo la salud del operario. Ver figura 2.3.



**Figura 2.3.: Cabinas automatizadas.**

**Fuente:** (Injoguisa, 2008)

## **2.2.2. PROCESOS Y MÉTODOS DE ACABADOS DE PINTURA.**

Básicamente se puede distinguir entre procesos que emplean sustancias pulverulentas (sólidas o líquidas) y procesos que emplean sustancias líquidas (por inmersión o por recubrimiento). (www.markmonitor.com, 2003)

### **a. LOS PROCESOS DE PULVERIZACIÓN DE RECUBRIMIENTOS LÍQUIDOS.**

En los procesos de pulverización de recubrimientos líquidos, las partículas se pueden aplicar por los siguientes métodos: pistolas de pulverización de aire comprimido, pistolas sin aire, pistolas electrostáticas o discos electrostáticos.

### **b. RECUBRIMIENTOS ORGÁNICOS.**

La aplicación de recubrimientos orgánicos en forma de polvo seco ha adquirido una amplia aceptación.

### **c. MÉTODOS DE PINTADO.**

Los métodos o técnicas de pintura se clasifican de acuerdo a la forma como se aplica la pintura sobre el objeto a pintar, de esta forma se puede clasificar en los siguientes métodos:

#### **c.1. PINTURA ELECTROSTÁTICA.**

En esta técnica se aplica un polvo de pintura que se puede proyectar bien a través de pistolas o bien a través de lechos fluidificado o cámaras de niebla. Ver figura 2.4.



**Figura 2.4.: Pintado electrostático.**

**Fuente:** (Hagan, 2003)

#### **c.2. INMERSIÓN.**

La técnica de inmersión se caracteriza porque las piezas de trabajo se recubren con líquidos inflamables o combustibles, sin necesidad de calentamiento previo o carga electrostática. Ver figura 2.5.

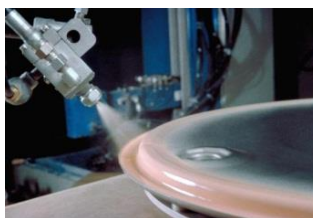


**Figura 2.5.: Pintado por Inmersión.**

**Fuente:** (Hagan, 2003)

### **c.3. RECUBRIMIENTO.**

En la técnica por recubrimiento, el fluido es suministrado por bombas que aspiran de un depósito de almacenamiento que se distribuye a través de tuberías. Ver figura 2.6.



**Figura 2.6.: Pintado por recubrimiento.**

**Fuente:** (Hagan, 2003)

### **d. VENTAJAS Y DESVENTAJAS.**

Las ventajas y desventajas de una cabina de pintura en todos los campos de su aplicación son las siguientes:

#### **d.1. VENTAJAS.**

- Mejora la eficiencia productiva.
- Permite un ahorro en el consumo de materias primas (pintura y solvente).
- Mejora la calidad en el recubrimiento de las piezas.
- Reduce las emisiones de compuestos orgánicos volátiles.

#### **d.2. DESVENTAJAS.**

- Altos costo de implementación.
- Requerimiento de programas de capacitación.
- Costos de mantenimiento.

### **2.2.3. APLICACIONES.**

Las aplicaciones de una cabina de pintura son muy diversas, pero a continuación se va a detallar las más importantes.

#### **a. APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA DE LA MADERA.** (Mai, Liem, 1995)

Este es el proceso en el que las superficies de madera para arquitectura (y en algunos casos materiales sintéticos imprimados) se pueden hacer más valiosas al cambiar y mejorar su apariencia, por ende una cabina de pintura es muy valiosa por su excelente acabado.

Explicado de una forma simple, se puede decir que todos los tintes son variaciones o combinaciones de dos tipos de tinturas:

- Tintes a base de colorante, que realmente tiñen la fibra de la madera.
- Tintes a base de pigmento, que depositan pigmentos entre las fibras y dentro de los poros de la madera.

#### **b. APLICACIONES EN LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ.**

La pintura automotriz es un trabajo que se realiza en todo el mundo, tanto en las fábricas automotrices como en los talleres de reparación.

Desde la creación del automóvil la pintura se usaba para decorar y embellecerlo, para darle un aspecto más atractivo.

### **2.3. COMPRESORES.**

Un compresor es una máquina de fluido que está construida para aumentar la presión y desplazar cierto tipo de fluidos llamados compresibles, tal como los gases y vapores.

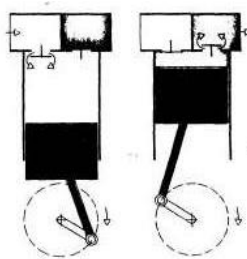
Esto se realiza a través de un intercambio de energía entre la máquina y el fluido en el cual el trabajo ejercido por el compresor es transferido a la sustancia que pasa por él convirtiéndose en energía de flujo, aumentando su presión y energía cinética impulsándola a fluir.

### 2.3.1. TIPOS DE COMPRESORES. (Prisma, 2000)

Según las exigencias referentes a la presión de trabajo y al caudal de suministro, se pueden emplear diversos tipos de construcciones, estos pueden ser:

#### a. COMPRESORES DE ÉMBOLO.

Es apropiado para comprimir a baja, media o alta presión. Su campo de trabajo se extiende desde unos 1 .100 kPa (1 bar) a varios miles de kPa (bar). Ver figura 2.7.



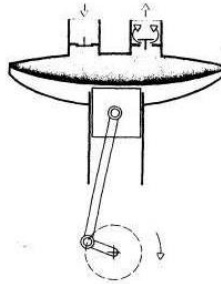
**Figura 2.7.: Compresor de émbolo oscilante.**

**Fuente:** (Prisma, 2000)

#### b. COMPRESOR DE MEMBRANA.

Este tipo forma parte del grupo de compresores de émbolo. Una membrana separa el émbolo de la cámara de trabajo; el aire no entra en contacto con las piezas móviles. Por lo tanto el aire comprimido estará

exento de aceite. Estos compresores se emplean con preferencia en las industrias alimenticias farmacéuticas y químicas. Ver figura 2.8.

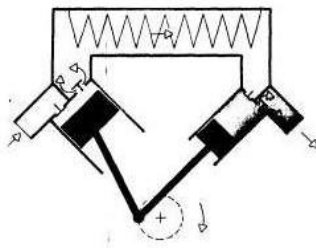


**Figura 2.8.: Compresor de membrana.**

**Fuente:** (Prisma, 2000)

### **c. COMPRESOR DE ÉMBOLO ROTATIVO.**

Consiste en un émbolo que está animado de un movimiento rotatorio. El aire es comprimido por la continua reducción del volumen en un recinto hermético. Ver figura 2.9.



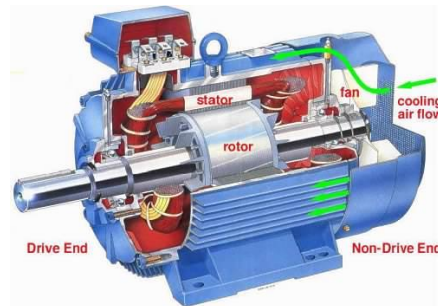
**Figura 2.9.: Compresor de émbolo rotativo.**

**Fuente:** (Prisma, 2000)

## **2.4. MOTORES ELÉCTRICOS.** (Wikipedia.org, 2001)

Un motor eléctrico es una máquina eléctrica que transforma energía eléctrica en energía mecánica por medio de campos electromagnéticos variables.

Algunos de los motores eléctricos son reversibles, pueden transformar energía mecánica en energía eléctrica funcionando como generadores y son muy utilizados en instalaciones industriales, comerciales y particulares. Ver figura 2.10.



**Figura 2.10: Partes de un motor eléctricos.**

**Fuente:** (Wikipedia.org, 2001)

#### 2.4.1. CLASIFICACIÓN DE LOS MOTORES ELÉCTRICOS.

- Motores de corriente continua.
  - ❖ De excitación independiente.
  - ❖ De excitación serie.
  - ❖ De excitación (shunt) o derivación.
  - ❖ De excitación compuesta (compund).
  
- Motores de corriente alterna.
  - ❖ Motores síncronos.
  - ❖ Motores asíncronos:
    - Monofásicos.
      - De bobinado auxiliar.
      - De espira en cortocircuito.
      - Universal.

- Trifásicos.
  - De rotor bobinado.
  - De rotor en cortocircuito (jaula de ardilla).

### **2.4.2. USOS.**

Los motores eléctricos se utilizan en la gran mayoría de las máquinas modernas. Su reducido tamaño permite introducir motores potentes en máquinas de pequeño tamaño, por ejemplo taladros o batidoras.

#### **a. CAMBIO DE SENTIDO DE GIRO.**

Para efectuar el cambio de sentido de giro de los motores eléctricos de corriente alterna se siguen unos simples pasos tales como:

- Para motores monofásicos únicamente es necesario invertir las terminales del devanado de arranque, esto se puede realizar manualmente o con relés conmutadores.
- Para motores trifásicos únicamente es necesario invertir dos de las conexiones de alimentación correspondientes a dos fases de acuerdo a la secuencia trifásica.
- Para motores de DC es necesario invertir las conexiones de alimentación del motor.

#### **b. REGULACIÓN DE VELOCIDAD.**

En los motores asíncronos trifásicos existen dos formas de poder variar la velocidad, una es variando la frecuencia mediante un equipo electrónico especial y la otra es variando la polaridad gracias al diseño del motor.



## 2.5. VENTILADORES. (Estrella R. - Muso D., 2011, pág. 40)

Un ventilador es una máquina rotativa que se utiliza para incrementar la presión del aire o de un gas con el fin de forzar al aire a través de ductos, sistemas de ventilación, calefacción.

Las presiones que se tienen en un ventilador son las siguientes:

- **Presión estática:** Es la diferencia entre la presión estática de salida y la presión total a la entrada. Es una presión debida a la compresión.
- **Presión dinámica:** Es el promedio de las velocidades a la salida del ventilador. Es una presión debida al movimiento del impulsor.
- **Presión total:** Es la suma de la presión estática y dinámica

### 2.5.1. TIPOS DE VENTILADORES.

Los ventiladores se clasifican en:

- Ventiladores axiales.
- Ventiladores centrífugos.

#### a. VENTILADORES AXIALES.

Son aquellos que tienen la entrada y la salida de aire en su mismo eje. La característica principal es que trabajan a bajas presiones, son usados para mover grandes caudales de aire.

Los ventiladores axiales a su vez se subdividen en:

- Ventiladores de propulsión.
- Ventiladores con envolvente.
- Ventiladores murales.

### a.1. VENTILADORES DE PROPULSIÓN.

Los ventiladores de propulsión tienen un funcionamiento casi axial, toman aire de un lado y lo descargan del otro lado.

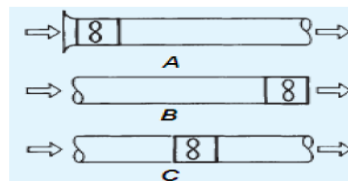
Son usados para brindar ventilación en viviendas y espacios de trabajo con el fin de brindar comodidades. Las velocidades de operación están desde las 600 a 1750 rpm, por lo que utilizan motores eléctricos.

### a.2. VENTILADORES CON ENVOLVENTE.

Los ventiladores con envolvente son muy parecidos a los ventiladores de propulsión, la diferencia entre estos dos, es que los ventiladores de envolvente están montados dentro de un ducto cilíndrico.

Se clasifica según la posición del impulsor. Ver figura 2.11.

- A. Impulsores:** Tienen entrada libre y salida entubada.
- B. Extractores:** Tienen entrada entubada y salida libre.
- C. Impulsores extractores:** Tienen entrada y salida entubada.

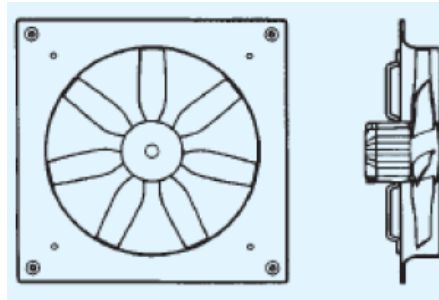


**Figura 2.11: Ventiladores con envolvente.**

**Fuente:** (Enom, Inc., 2011)

### a.3. VENTILADORES MURALES.

A este tipo de ventiladores se los conoce como extractores, son utilizados en el campo de la ventilación. Ver figura 2.12.



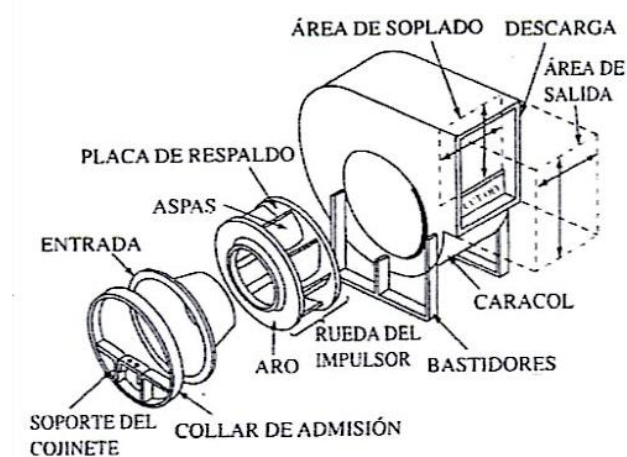
**Figura 2.12.: Ventiladores murales.**

**Fuente:** (Enom, Inc., 2011)

### b. VENTILADORES CENTRÍFUGOS.

Los ventiladores centrífugos toman aire por el centro del rotor, este es lanzado hacia fuera por las aspas generando energía cinética, la entrada y la salida de aire forman un ángulo de 90°.

El aire expulsado por las aspas pasa por la voluta o carcasa del ventilador, convirtiendo la energía cinética en una presión de gas aumentada la que finalmente es entregada a los ductos. Ver figura 2.13.



**Figura 2.13.: Ventiladores centrífugos - montaje.**

**Fuente:** (Enom, Inc., 2011)

## **2.6. sensores.** (Ascio Technologies, Inc, 2008)

La automatización dentro de los sistemas de producción, necesita la utilización de componentes que sean capaces de adquirir y transmitir información relacionada con el proceso de producción, los sensores cumplen con estos requerimientos en la tecnología de medición.

Los sensores proporcionan la información al control en forma de variables individuales del proceso. Estas variables son físicas tales como: temperatura, presión, fuerza, longitud, ángulo de giro, nivel, caudal, etc.

### **2.6.1. sensores para temperatura.**

La temperatura es el parámetro físico más común que se mide en una aplicación industrial, incluso en el caso en que el parámetro de interés no es la temperatura, teniendo por tal motivo un alto grado de importancia, ya que nos sirve como punto de referencia a bastantes eventualidades y diagnósticos.

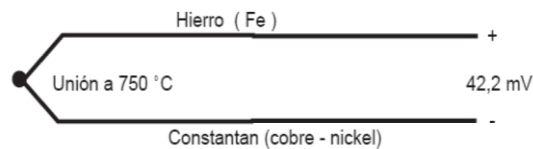
Los diferentes métodos de medición de temperatura desde el punto de vista electrónico, entre los principales son:

- Sensores de temperatura con termopares.
- Sensores de temperatura resistivos.

#### **a. sensores de temperatura con termopares.**

El termopar también llamado termocupla es un dispositivo para la medición de la temperatura, basado en efectos termoeléctricos.

Es un circuito formado por dos conductores de metales diferentes o aleaciones de metales diferentes, unidos en sus extremos y entre cuyas uniones existe una diferencia de temperatura originando una fuerza electromotriz. Ver figura 2.14.



**Figura 2.14.: Termocupla Tipo J.**

**Fuente:** (Ascio Technologies, Inc, 2008)

En la Tabla 2.1 se muestra la clasificación de los diferentes tipos de termocuplas existentes.

**Tabla 2.1. Clasificación básica de las termocuplas.**

TIPO	DENOMINACIÓN	COMPOSICIÓN	RANGO DE TEMPERATURA (°C)	F.E.M. (MV)
<b>B</b>	Platino-rodio vs Platino-rodio	PtRh (30%) - PtRh (6%)	0 – 1500	0 – 10
<b>R</b>	Platino-rodio vs Platino	PtRh (13%) – Pt	0 – 1400	0 – 16
<b>S</b>	Platino-rodio vs Platino	PtRh (10%) – Pt	0 – 1300	0 – 13
<b>J</b>	Hierro vs Constatán	Fe – CuNi	- 200 –700	- 8 – 39
<b>K</b>	Níquel-cromo vs Níquel	NiCr – Ni	0 –1000	0 – 41

**Fuente:** (American Society for Testing and Materials (ASTM).)

## b. SENSORES DE TEMPERATURA RESISTIVOS.

Las RTD (Resistance Temperature Detector) son sensores basados en elementos conductores, están contruidos con una resistencia de platino (Pt), llamadas también PRTD, aunque también se utilizan otros materiales, como se puede apreciar en la Tabla 2.2.

**Tabla 2.2: Características de los materiales usados para las RTD.**

MATERIAL.	RANGO DE TEMPERATURA (°C).	VARIACIÓN (%/°C) a 25°C.
Platino.	-200 a 850	0.39
Níquel.	-80 a 320	0.67
Cromo.	-200 a 260	0.38
Níquel-Acero	-200 a 260	0.46

**Fuente:** (Ascio Technologies, Inc, 2008)

Las RTD tienen una resistencia entre 20 y 20000  $\Omega$ . La ventaja más importante es que son lineales dentro del rango de temperatura entre 200°C y 850°C.

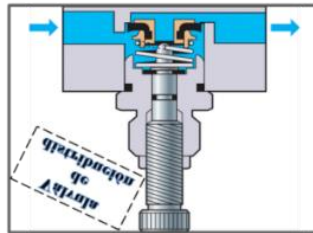
## 2.7. ACCESORIOS NEUMÁTICOS.

### 2.7.1. VÁLVULAS NEUMÁTICAS. (MODESTI, 1992)

En esta sección se verá las diferentes clases de válvulas que existen.

### a. VÁLVULAS DE DISTRIBUCIÓN.

Son las encargadas de distribuir el aire comprimido en los diferentes actuadores neumáticos, por ejemplo los cilindros. Ver figura 2.15.



**Figura 2.15.: Válvula de distribución.**

**Fuente:** (Markmonitor, 2014)

Se pueden clasificar de varias maneras, por su construcción interna, por su accionamiento y por el número de vías y posiciones.

- Válvulas 2/2.
- Válvulas 3/2.
- Válvulas 4/2.
- Válvulas 5/2.

### b. VÁLVULAS DE BLOQUEO.

Son válvulas con la capacidad de bloquear el paso del aire comprimido cuando se dan ciertas condiciones en el circuito. Ver figura 2.16.



**Figura 2.16.: Válvula de bloqueo.**

**Fuente:** (Markmonitor, 2014)

Pueden ser de varios tipos:

- Válvula anti retorno.
- Válvula anti retorno pilotada.
- Válvula selectora.

En este tipo de válvulas se encuentra, válvulas anti retorno, de simultaneidad, de selección de circuito y escape.

### **c. VÁLVULAS REGULADORAS.**

Son válvulas que regulan el caudal y la presión. Ver figura 2.17.



**Figura 2.17.: Válvula reguladora.**

**Fuente:** (Markmonitor, 2014)

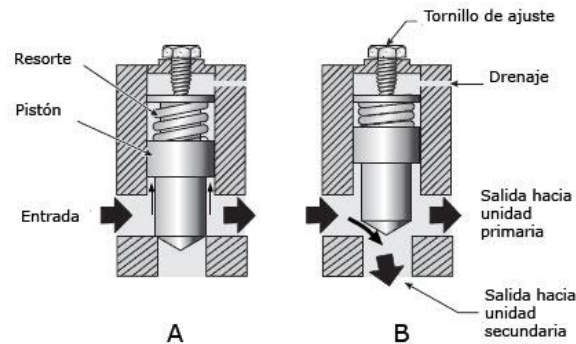
Estas válvulas son:

- Válvulas de estrangulación regulable.
- Válvulas de estrangulación regulable con anti retorno.
- Válvula reguladora de presión sin orificio de escape.
- Válvula reguladora de presión con orificio de escape.

### **d. VÁLVULAS SECUENCIALES.**

Su funcionamiento es muy similar a la válvula limitadora de presión, abre el paso cuando se alcanza una presión superior a la ajustada del muelle. Ver figura 2.18.





**Figura 2.18.: Válvula secuencial.**

**Fuente:** (Markmonitor, 2014)

### 2.7.2. TUBERÍAS NEUMÁTICAS.

El aire se transporta por tuberías hasta los receptores neumáticos o equipos. Estas pueden ser rígidas o flexibles.

Las rígidas son más utilizadas en instalaciones definitivas, las flexibles se usan para realizar conexiones entre componentes e incluso entre unas tuberías y otras, en el mercado existen de distintos diámetros y colores para facilitar el diseño, son las más aptas para realizar montajes sencillos. Ver figura 2.19.



**Figura 2.19.: Diversos tipos de tuberías neumáticas.**

**Fuente:** (Friedman, Jared, 1998)

### 2.7.3. LUBRICADOR DE ACEITE ATOMIZADO. (Deane, 2000)

Sirve para proporcionar aceite atomizado en el compresor de aire tal que lubrique los componentes neumáticos y proteja contra la corrosión. Ver figura 2.20.

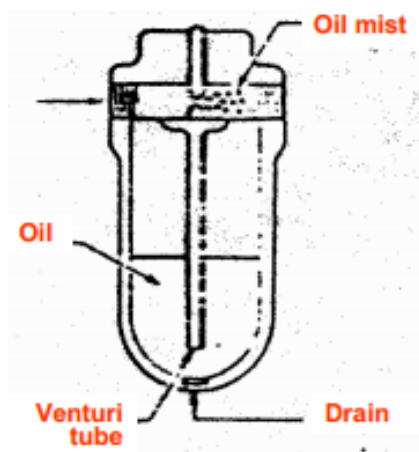


Figura 2.20.: Lubricador de aceite atomizado.

Fuente: (Deane, 2000)

### 2.7.4. CILINDROS NEUMÁTICOS. (Enom, Inc., 2011)

La energía del aire comprimido se transforma por medio de cilindros en un movimiento lineal de vaivén mediante motores neumáticos en un movimiento de giro. Ver figura 2.21.



Figura 2.21.: Cilindro neumático.

Fuente: (Enom, Inc., 2011)

## 2.8. ACCESORIOS ELÉCTRICOS.

### 2.8.1. CABLES ELÉCTRICOS. (MarkMonitor Inc., 2001)

Se llama cable a un conductor (generalmente cobre) o conjunto de ellos generalmente recubierto de un material aislante o protector, también se usa el nombre de cable para transmisores de luz (cable de fibra óptica) o esfuerzo mecánico (cable mecánico).

El cable cuyo propósito es conducir electricidad se fabrica generalmente de cobre, debido a la excelente conductividad de este material o de aluminio aunque posee menor conductividad es más económico. Ver figura 2.22.

Las partes generales de un cable eléctrico son:

- **Conductor:** Elemento que conduce la corriente eléctrica y puede ser de diversos materiales metálicos. Puede estar formado por uno o varios hilos.
- **Aislamiento:** Recubrimiento que envuelve al conductor, para evitar la circulación de corriente eléctrica fuera del mismo.
- **Cubierta:** Está hecha de materiales que protejan mecánicamente al cable.



**Figura 2.22.: Cables eléctricos.**

**Fuente:** (J. Jonson, 1992)

### 2.8.2. CANALIZACIONES ELÉCTRICAS. (J. Jonson, 1992)

Se entiende por canalización eléctrica al dispositivo empleado en las instalaciones eléctricas para contener a los conductores de manera que quedan protegidos contra deterioro mecánico y contaminación, además protegen a la instalación contra incendios producidos por arcos eléctricos que se presentan en condiciones de cortocircuito. Ver figura 2.23.

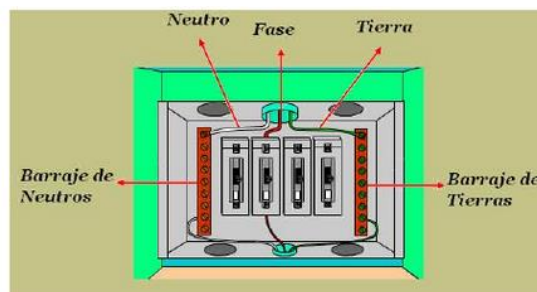


**Figura 2.23.: Canalizaciones eléctricas.**

**Fuente:** (J. Jonson, 1992)

### 2.8.3. TABLEROS DE DISTRIBUCIÓN.

Representan el centro nervioso de las instalaciones eléctricas y contienen los dispositivos de protección contra sobre-corriente que protegen a los componentes de sobrecarga o cortocircuito. Ver figura 2.24.



**Figura 2.24.: Tableros de distribución.**

**Fuente:** (J. Jonson, 1992)

## **2.9. CONTROLADORES.**

### **2.9.1. INTRODUCCIÓN.** (INTRODUCCION AL PLC, 1990)

Se puede definir un programa como un conjunto de instrucciones, órdenes y símbolos reconocibles por el PLC través de su unidad de programación que le permiten ejecutar una secuencia de control deseada. El Lenguaje de Programación en cambio permite al usuario ingresar un programa de control en la memoria del PLC usando una sintaxis establecida.

Al igual como los PLC's se han desarrollado y expandido los lenguajes de programación. Los lenguajes de hoy en día tienen nuevas y más versátiles instrucciones y con mayor poder de computación.

Por ejemplo, los PLC's pueden transferir bloques de datos de una localización de memoria a otra, mientras al mismo tiempo llevan a cabo operaciones lógicas y matemáticas en otro bloque. Como resultado de estas nuevas y expandidas instrucciones los programas de control pueden ahora manejar datos más fácilmente.

### **2.9.2. MICRO - CONTROLADORES.**

La automatización con micro controlador ha tenido una enorme acogida en el campo industrial, principalmente por su gran versatilidad y sencillez en cuanto a conexiones y fácil operación del mismo. Ver figura 2.25.



**Figura 2.25.: Aspecto externo de un PLC Siemens s7-1200.**

**Fuente:** (Introducción al Plc, 1990)

### **2.9.3. DESCRIPCIÓN DE LOS PLC'S.**

El Controlador Lógico Programable (PLC), es un dispositivo electrónico, diseñado para controlar en tiempo real dentro de un entorno industrial, máquinas o procesos lógicos secuenciales.

Un PLC trabaja en base a la información recibida por los captadores y el programa lógico interno, actuando sobre los accionadores de la instalación.

Sus principales beneficios son:

- Menor cableado, reduce costos y tiempos de parada de planta.
- Reducción del espacio en los tableros.
- Mayor facilidad para el mantenimiento y puesta en servicio.
- Flexibilidad de configuración y programación,

### **2.9.4. ARQUITECTURA INTERNA DEL PLC.**

La estructura básica de cualquier autómatas es la siguiente:

- Fuente de alimentación.
- CPU.
- Módulo de entrada.
- Módulo de salida.

### 2.9.5. CAMPOS DE APLICACIÓN DE LOS PLC. (Véliz, 2011)

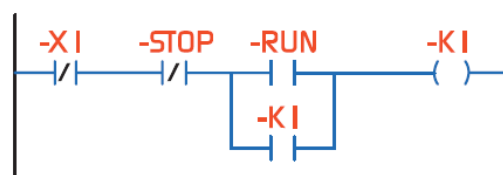
Hoy la tecnología ofrece PLC acorde las necesidades de cada usuario y cada aplicación como:

- Dosificadores.
- Alimentadores para máquinas.
- Montacargas.
- Lavadoras industriales y de automóviles.
- Calefacción, vidrieras, etc.

### 2.9.6. LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN.

Los lenguajes de programación del PLC son dos, visuales y escritos. Los visuales admiten estructurar el programa por medio de símbolos gráficos similares a los que se han venido utilizando para describir los sistemas de automatización, planos esquemáticos y diagramas de bloques.

Los escritos son listados de sentencias que describen las funciones a ejecutar. Ver figura 2.26, figura 2.27.



**Figura 2.26.: Lenguaje visual.**

**Fuente:** (Véliz, 2011)

```

AN  -XI
AN  -STOP
(
A   -RUN
O   -KI
)
=   -KI

```

**Figura 2.27.: Lenguaje escrito.**

**Fuente:** (Véliz, 2011)

### 2.9.7. PROGRAMACIÓN.

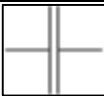
La programación es un conjunto de instrucciones que producirán la ejecución de una determinada tarea. En esencia un programa es una respuesta predeterminada a todas las posibles combinaciones de estados de la información que recibe.

#### a. LENGUAJE LADDER.


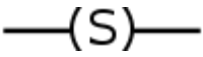

También denominado lenguaje de contactos o en escalera, es un lenguaje de programación gráfico muy popular dentro de los autómatas programables debido a que está basado en los esquemas eléctricos de control clásicos.

De este modo, con los conocimientos que todo técnico eléctrico posee, es muy fácil adaptarse a la programación en este tipo de lenguaje.

**Tabla 2.3. Elementos básicos en Ladder.**

Símbolo.	Nombre.	Descripción.
	Contacto NA	Se activa cuando hay un uno lógico en el elemento que representa, esto es, una entrada (para captar información del proceso a controlar), una variable interna o un bit de sistema.



	Bobina NC	Se activa cuando la combinación que hay a su entrada (izquierda) da un cero lógico. Su activación equivale a decir que tiene un cero lógico. Su comportamiento es complementario al de la bobina NA.
	Bobina SET	Una vez activa (puesta a 1) no se puede desactivar (puesta a 0) si no es por su correspondiente bobina en RESET.
	Bobina JUMP	Permite saltarse instrucciones del programa e ir directamente a la etiqueta que se desee.

**Fuente:** (Véliz, 2011)

## 2.10. ELEMENTOS DE CONTROL Y PROTECCIÓN.

Estos pueden ser aparatos de maniobra y protección.

### 2.10.1. APARATOS DE MANIOBRA. (ProteccionesEléctricas, 2010)

Son todos aquellos aparatos que permiten el paso o la interrupción del flujo de corriente a una determinada carga, esta puede ser motores, bobinas, resistencias, entre otras.

Existen dos grandes grupos de aparatos de maniobra:

- Aparatos de maniobra manuales.
- Aparatos de maniobra automáticos.

#### a. APARATOS DE MANIOBRA MANUALES.

Los aparatos de maniobra manuales son todos aquellos que necesitan de un operario para su accionamiento. Estos pueden ser con poder de corte

(puede ser accionado en circuito bajo carga) y sin poder de corte (deben ser accionado sin carga). Entre estos aparatos tenemos:

### a.1. LOS INTERRUPTORES.

Son dispositivos poder de corte, para cerrar o abrir circuitos, las secciones de las piezas que cierran o abren el circuito deben estar convenientemente dimensionadas, de tal manera que permitan el paso de corriente sin que se genere calentamiento excesivo. Ver figura 2.28.



**Figura 2.28.: Interruptor.**

**Fuente:** (Schneider-Electric., 2014)

### a.2. PULSADORES.

Estos son dispositivos que se diferencian de los interruptores porque estos cierran y abren circuitos solamente mientras actúa sobre ellos una fuerza exterior, recuperando su posición de reposo (inicial) al pulsar dicha fuerza, por acción de un resorte o muelle. Ver figura 2.29.



**Figura 2.29.: Pulsadores.**

**Fuente:** (Schneider-Electric., 2014)

## b. APARATOS DE MANIOBRA AUTOMÁTICOS.

Los aparatos de maniobra automáticos son diseñados para abrir o cerrar circuitos en función de los valores que adquieren ciertas magnitudes físicas como temperatura, presión, espacio, tiempo, entre otros. Ver figura 2.30.

Las principales características de un interruptor automático son:

- Capacidad de maniobra, que es el número mínimo de maniobras que se puede realizar con dicho aparato.
- Poder de corte, lo cual indica la máxima corriente que puede interrumpir sin peligro que se dañe.



**Figura 2.30.: Interruptor automático.**

**Fuente:** (Schneider-Electric., 2014)

### 2.10.2. APARATOS DE PROTECCIÓN.

Son dispositivos que permiten detectar condiciones anormales definidas (sobrecargas, cortocircuito, etc.) e interrumpir la línea que alimenta la anomalía u ordenar su interrupción a través del elemento de maniobra al que está acoplado.

Las clases de protecciones existentes en el campo industrial más utilizados son los siguientes:

### a. FUSIBLES.

Los fusibles son pequeños dispositivos que permiten el paso constante de la corriente eléctrica hasta que ésta supera el valor máximo permitido. Cuando aquello sucede entonces el fusible inmediatamente cortará el paso de la corriente eléctrica a fin de evitar algún tipo de accidente, protegiendo los aparatos eléctricos de quemarse o estropearse. Ver figura 2.31.

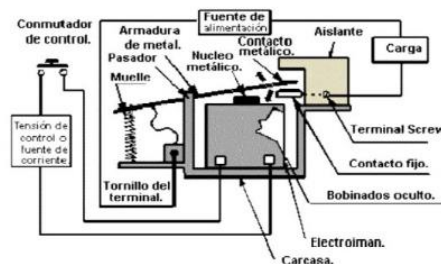


**Figura 2.31.: Fusibles.**

**Fuente:** (Schneider-Electric., 2014)

### b. RELÉ.

El relé es un dispositivo mecánico capaz de comandar cargas pesadas a partir de una pequeña tensión aplicada a su bobina. Básicamente la bobina contenida en su interior genera un campo magnético que acciona el interruptor mecánico. Ese interruptor es el encargado de manejar la potencia en sí, quedando al circuito electrónico la labor de mover la bobina. Permite así aislar mecánicamente la sección de potencia a la de control. Ver figura 2.32.



**Figura 2.32.: Estructura del relé.**

**Fuente:** (Prisma, 2000)

## **CAPÍTULO III.**

### **3. DISEÑO MECÁNICO, NEUMÁTICO Y TÉRMICO DE LA CABINA.**

#### **3.1. INTRODUCCIÓN.**

En este capítulo se muestra el resultado de la búsqueda del diseño más adecuado de la cabina de pintura, acorde a cumplir con todos los requerimientos funcionales y de seguridad exigidos para este tipo de máquinas. Para lograr este cometido se partió de un diseño preliminar el mismo que se fue modificando y mejorando durante la etapa de diseño, hasta llegar al diseño definitivo.

Con el fin de agilizar el proceso interactivo de diseño, se utilizó el programa SolidWorksSimulation y SolidWorksMotion, para con su ayuda, realizar de forma rápida y precisa el análisis cinético, de esfuerzos y térmico de las diferentes alternativas de diseño hasta llegar a obtener las dimensiones, formas y perfiles más adecuados que garantizan un funcionamiento adecuado y seguro de la cabina de pintura bajo condiciones críticas de operación.

#### **3.2. PARÁMETROS DE DISEÑO MECÁNICO.**

Partiendo de los requerimientos funcionales de la máquina, así como; de las especificaciones técnicas que tienen máquinas semejantes existentes en el mercado y tomando en cuenta los recursos económicos disponibles para su construcción, a continuación se describen los principales parámetros que influyen directamente en el diseño mecánico y neumático de la cabina:

- Velocidad recomendada de avance longitudinal ( $V_L$ )= 1,0 m/s
- Velocidad recomendada de avance transversal ( $V_T$ ) = 0.15 m/s
- Peso máximo de cada pistola de pintar = 20 N
- Dimensiones de la puerta (alto x ancho x espesor) = (2.1 x 1.2 x 0.04) metros
- Peso máximo de las puertas = 450 N
- Presión máxima del sistema = 6.9 bar (690 kPa)
- Consumo de aire en la pulverización = 400 lt/min
- Angulo de inclinación máximo de las pistolas de pintar = 45°
- Ángulo de giro de la puerta = 180°
- Temperatura máxima de secado en la cabina = 30°C
- Expectativa de vida útil de la máquina = 10 años.
- Factor de seguridad mínimo requerido = 3.0 (Mott, 2006, pág. 185)

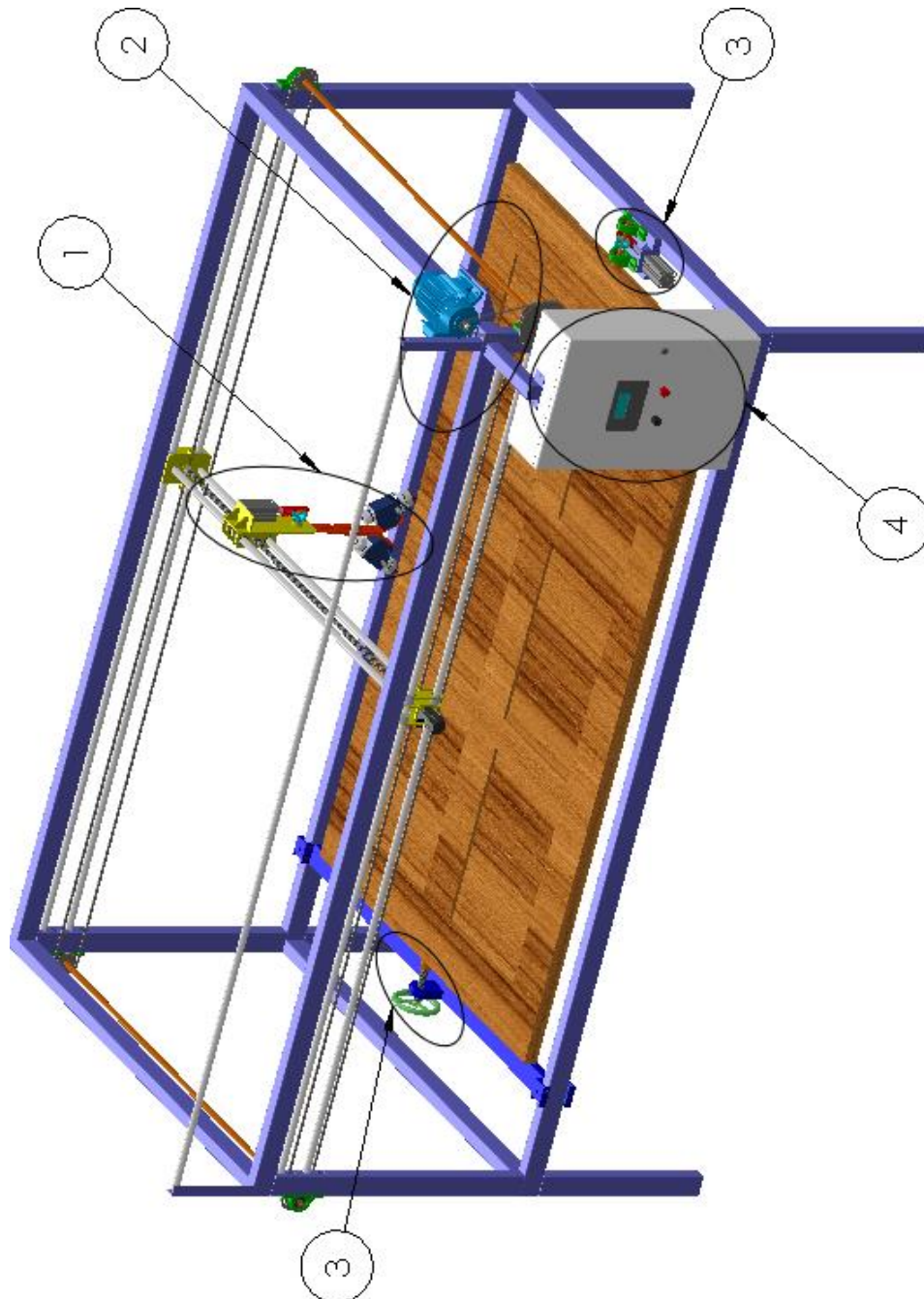
En función de estos parámetros y del fundamento teórico del capítulo anterior, a continuación se procede con el diseño y la selección de los diferentes componentes mecánicos de la cabina de pintura.

### **3.3. ESQUEMA CONCEPTUAL PRELIMINAR DEL SISTEMA DE PINTADO DE PUERTAS.**

En base a los parámetros de diseño y los requerimientos funcionales del sistema de pintado de puertas, en la figura 3.1 se presenta el esquema preliminar concebido para la máquina con sus sistemas y componentes principales:

1. Sistema para sujeción y movimiento transversal de las pistolas de pintar.
2. Sistema para movimiento longitudinal de las pistolas de pintar movimiento.
3. Sistema para sujeción y giro de la puerta.

## 4. Sistema de control.

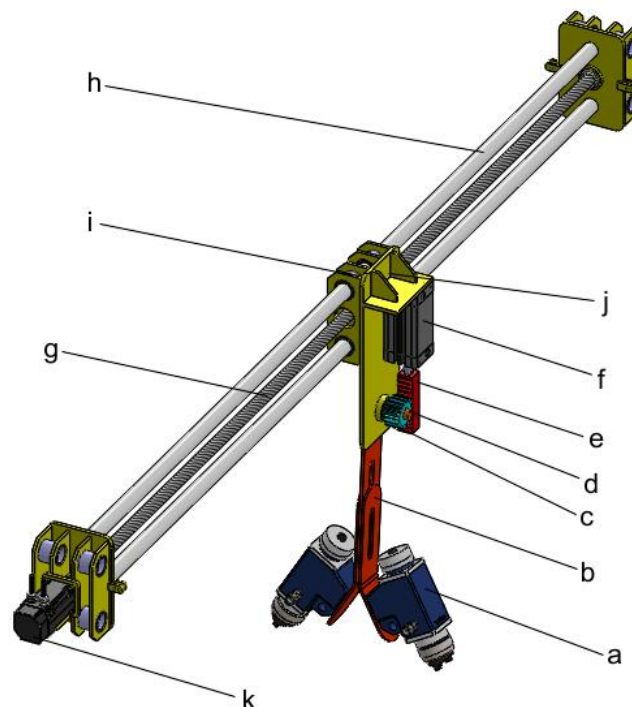


**Figura 3.1.: Esquema conceptual preliminar del sistema de pintado de puertas.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

### 3.4. DISEÑO DEL SISTEMA PARA SUJECCIÓN Y MOVIMIENTO TRANSVERSAL DE LAS PISTOLAS DE PINTAR.

Este sistema es el encargado de sujetar las pistolas de pintar a la altura adecuada y proporcionarle el ángulo de inclinación en ambos sentidos (máximo 45°). Este sistema está compuesto de los siguientes elementos, Ver figura 3.2.



**Figura 3.2.: Sistema para sujeción y movimiento transversal de las pistolas de pintar.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

- a. Pistola de pintar.
- b. Brazo de sujeción de las pistolas.
- c. Piñón para movimiento de inclinación de las pistolas.
- d. Eje del brazo de sujeción.
- e. Cremallera para el movimiento de inclinación de las pistolas.
- f. Cilindro neumático para el movimiento de inclinación de las pistolas.



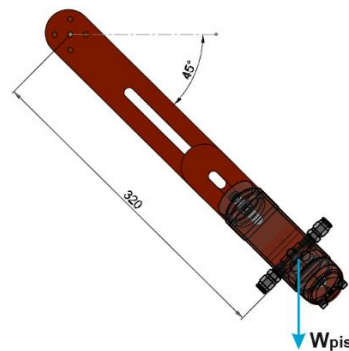
- g. Husillo de bolas para el movimiento transversal de las pistolas.
- h. Guías para el movimiento transversal de las pistolas.
- i. Rodamientos lineales para el movimiento transversal de las pistolas.
- j. Carro para el movimiento transversal de las pistolas.
- k. Motor para el movimiento transversal de las pistolas.

### 3.4.1. DISEÑO DEL BRAZO DE SUJECIÓN.

Por disponibilidad en el mercado, facilidad de maquinado y costos, este elemento se fabricará con platinas de acero estructural ASTM A36.

#### a. DETERMINACIÓN DE CARGAS.

Como se indica en la figura 3.3 la inclinación máxima del brazo será 45° con una extensión de 320 mm y deberá soportar el peso de las pistolas de pintar.



**Figura 3.3.: Cargas sobre el brazo de sujeción de las pistolas.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

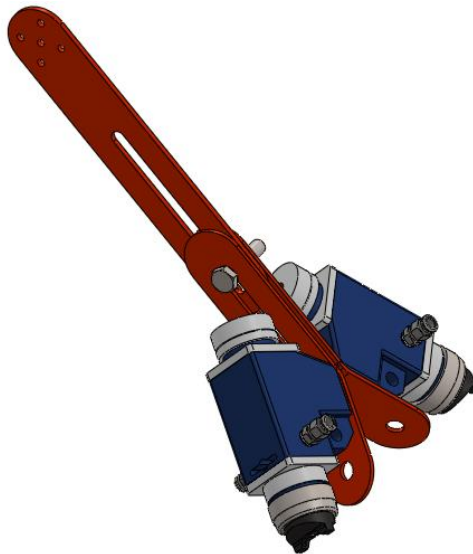
Debido a que el sistema permite trabajar con dos pistolas simultáneamente, la carga máxima que debe soportar el brazo de sujeción es:

$$W_{pis} = 2 \cdot 20 \text{ N}$$

$$W_{pis} = 40 \text{ N}$$

## b. ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN EL BRAZO DE SUJECIÓN.

Tomando en cuenta que el brazo de sujeción debe permitir regular la altura de la pistola de pintar, se determinó que la geometría más adecuada para el brazo es el mostrado en la figura 3.4.



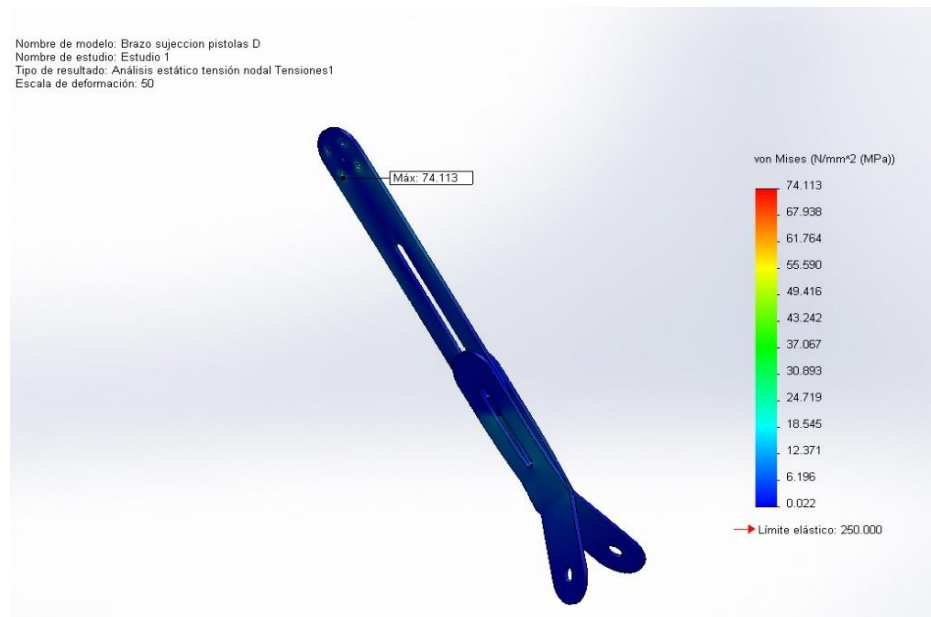
**Figura 3.4.: Modelado 3D del brazo de sujeción de las pistolas.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

El análisis de esfuerzos del brazo de sujeción se realiza con la ayuda de software de Ingeniería Asistida por Computador (CAE), específicamente mediante los Solvers de Análisis por Elementos Finitos (FEA) del programa SolidWorksSimulation.

### b.1. INFORME DE SOLIDWORKS.

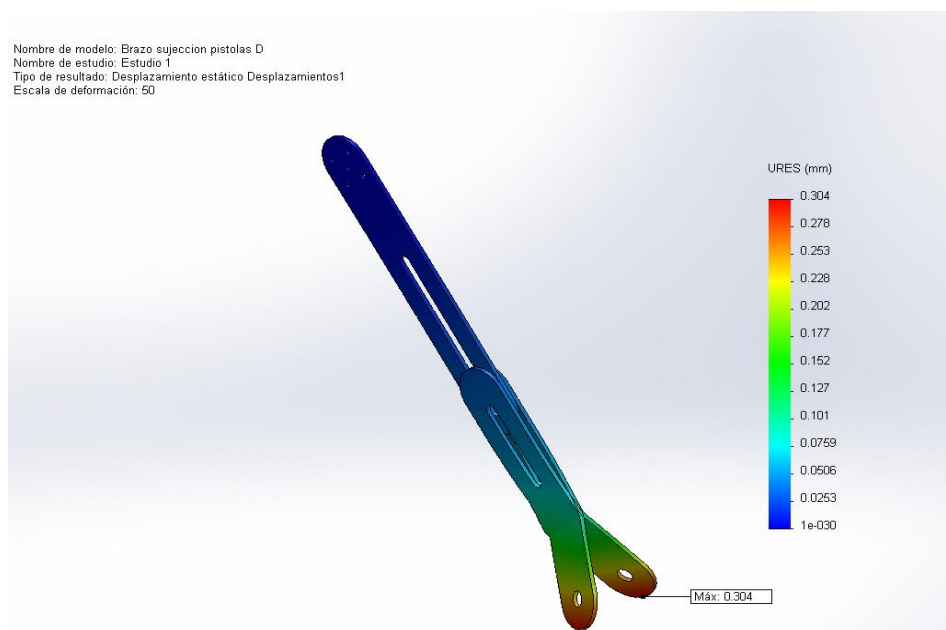
En la figura 3.5 se tiene una tensión de 74.113 MPa, este parámetro está dentro de las tensiones que pueden soportar el material que es de 250 MPa, por lo tanto el diseño es seguro para su ejecución.



**Figura 3.5.: Tensión de Von Mises generado en el brazo de sujeción.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

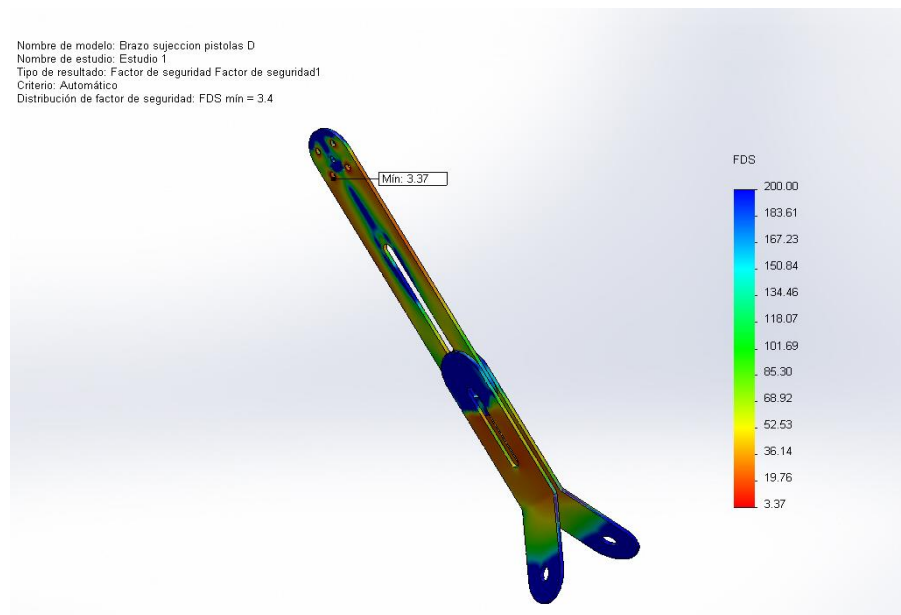
El desplazamiento al que va a estar sometido es de 0.304 mm, por lo que es mínimo y no afecta al sistema (Ver figura 3.6).



**Figura 3.6.: Desplazamiento resultante en el brazo de sujeción.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

En la figura 3.7 se tiene un factor de seguridad de 3.37 por lo que este parámetro está dentro de lo estimado de diseño.



**Figura 3.7.: Factor de diseño para el brazo de sujeción.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

### 3.4.2. DISEÑO DEL PIÑÓN PARA EL BRAZO DE SUJECIÓN.

A fin de otorgarle el ángulo de inclinación adecuado a la pistola para facilitar el pintado de los filos de las puertas, se utilizará un sistema de piñón cremallera accionado mediante un pistón neumático como se muestra en la figura 3.2.

A fin de facilitar el tratamiento de temple para el endurecimiento superficial del piñón se utilizará para su fabricación acero AISI 1020.

El piñón se fabricará con un módulo de 2 y ángulo de presión ( $\varphi$ ) de 20°; y de acuerdo con lo mencionado en el Anexo M-1 para asegurar que no se

genere interferencia con los dientes de la cremallera tendrá 18 dientes, por lo tanto:

$$D_{p1} = m_p \cdot N_p \quad \text{Ec.3.1. (Mott, 2006, pág. 312)}$$

$$D_{p1} = 2 \times 18$$

$$D_{p1} = 36 \text{ mm}$$

Dónde:

$$D_{p1} = \text{Diámetro de paso.}$$

$$m_p = \text{Módulo} = 2.$$

$$N_p = \text{Número de dientes} = 18$$

#### a. DETERMINACIÓN DE CARGAS.

De acuerdo con los requerimientos de diseño y los parámetros mostrados en la figura 3.3, el torque máximo ( $T_b$ ) requerido para generar el movimiento de inclinación de las pistolas es:

$$T_b = W_{pis} \cdot x \quad \text{Ec.3.2.}$$

$$T_b = 40 \text{ N} \cdot 0.32 \text{ m} \cdot \cos 45^\circ$$

$$T_b = 9.05 \text{ Nm}$$

Dónde:

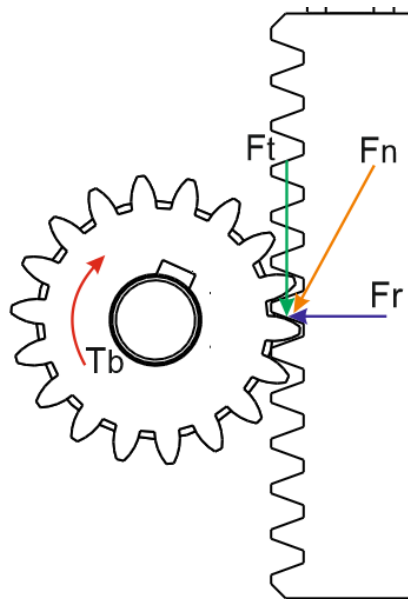
$$x = \text{Distancia perpendicular de la fuerza al centro de giro.}$$

Por lo tanto la fuerza tangencial ( $F_{t1}$ ) en el punto de contacto entre el diente del piñón y la cremallera es (Ver figura 3.8):

$$F_{t1} = \frac{T_b}{D_{p1}/2} \quad \text{Ec.3.3. (Mott, 2006, pág. 369)}$$

$$F_{t1} = \frac{2 \cdot 9.05 \text{ Nm}}{0.036}$$

$$F_{t1} = 502,8 \text{ N}$$



**Figura 3.8.: Cargas que actúan en el mecanismo piñón-cremallera.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

La fuerza radial ( $F_{r1}$ ) viene dado por:

$$F_{r1} = F_{t1} \cdot \tan \varphi. \quad \text{Ec.3.4. (Mott, 2006, pág. 369)}$$

$$F_{r1} = 502.8 \text{ N} \cdot \tan 20^\circ$$

$$F_{r1} = 183,0 \text{ N}$$

Y la fuerza normal ( $F_{n1}$ ) viene dado por:

$$F_{n1} = \frac{F_{t1}}{\cos \varphi} \quad \text{Ec.3.5. (Mott, 2006, pág. 369)}$$

$$F_{n1} = \frac{502.8 \text{ N}}{\cos 20^\circ}$$

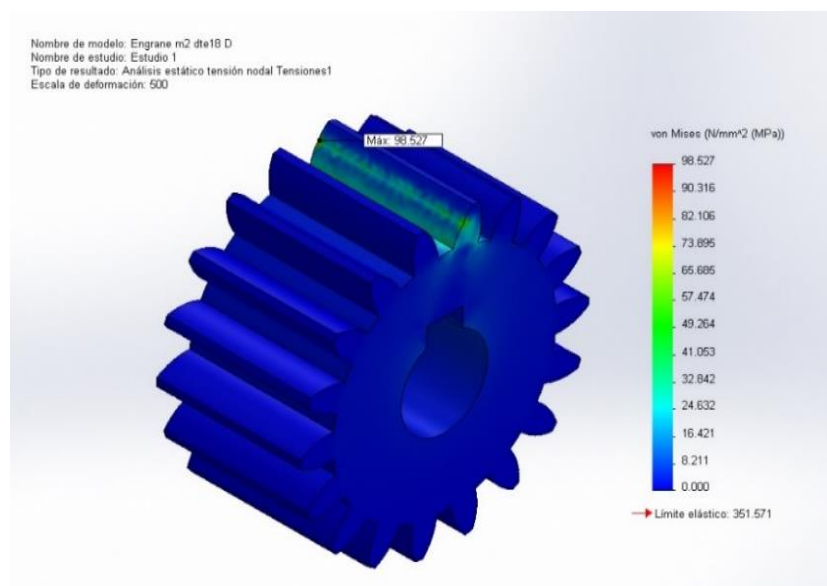
$$F_{n1} = 535,1 \text{ N}$$

## b. ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN EL PIÑÓN.

A partir del modelo 3D del piñón y las fuerzas calculadas, su análisis de esfuerzos se realiza en el programa SolidWorksSimulation.

### b.1. INFORME DE SOLIDWORKS.

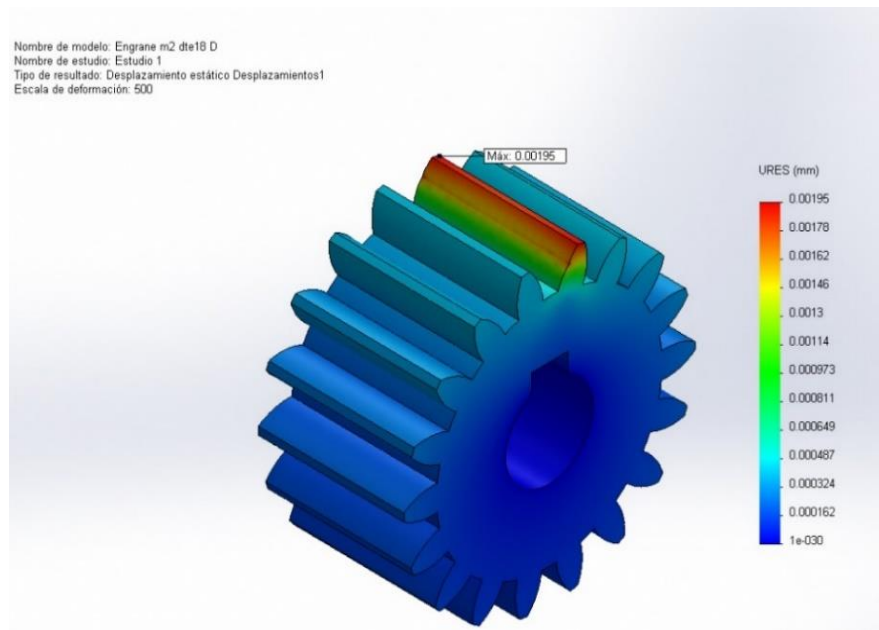
En la figura 3.9 se tiene una tensión de 98.52 MPa, este parámetro está dentro de las tensiones que pueden soportar el material que es de 351 MPa, por lo tanto el diseño es seguro para su ejecución.



**Figura 3.9.: Tensión de Von Mises para el piñón.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

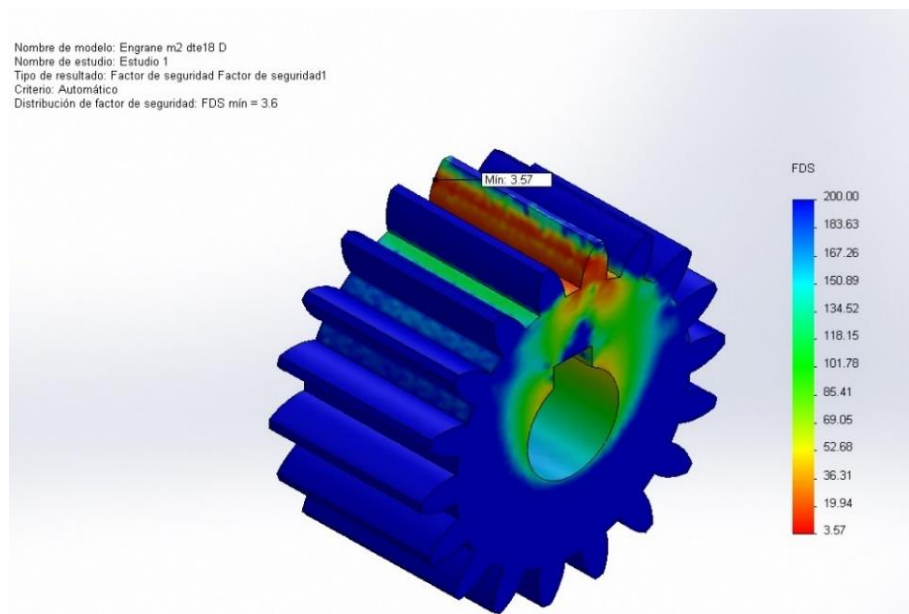
El desplazamiento al que va a estar sometido es de 0.0019 mm, por lo que es mínimo y no afecta al sistema (Ver figura 3.10).



**Figura 3.10.: Desplazamiento resultante del piñón.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

En la figura 3.11 se tiene un factor de seguridad de 3.57 por lo que este parámetro está dentro de lo estimado en el diseño.



**Figura 3.11.: Factor de diseño del piñón.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)



### 3.4.3. DISEÑO DE LA CREMALLERA PARA EL BRAZO DE SUJECIÓN.

La cremallera tiene el mismo material, módulo y ángulo de presión que el piñón, por lo que la longitud mínima ( $L_{min}$ ) que debe tener la cremallera para garantizar el ángulo de inclinación de  $45^\circ$  a ambos lados, viene dado por:

*Ec.3.6.* (Mott, 2006, pág. 328)

$$L_{min} = 2 \cdot \left( \frac{\pi}{2} \cdot \frac{D_{p1}}{2} \right)$$

$$L_{min} = 2 \cdot \left( \frac{\pi}{2} \cdot \frac{36}{2} \right)$$

$$L_{min} = 56.55 \text{ mm}$$

Por seguridad se toma una longitud para la cremallera  $L_{crem} = 80 \text{ mm}$ .

#### a. DETERMINACIÓN DE CARGAS.

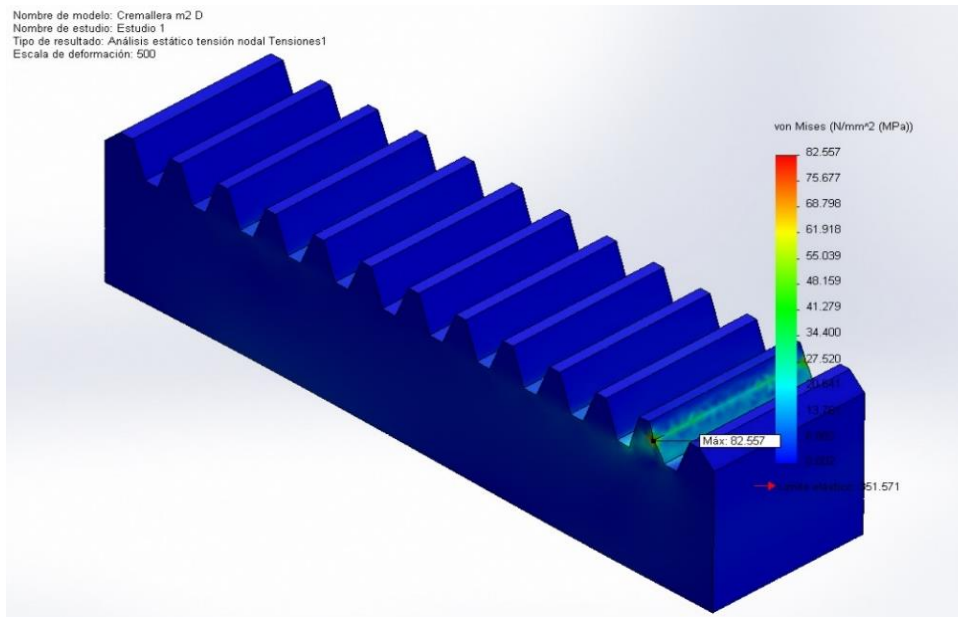
La cremallera soporta las mismas cargas que el piñón pero en sentido opuesto.

#### b. ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN LA CREMALLERA.

El análisis de esfuerzos de la cremallera se realiza en el programa SolidWorksSimulation.

##### b.1. INFORME DE SOLIDWORKS.

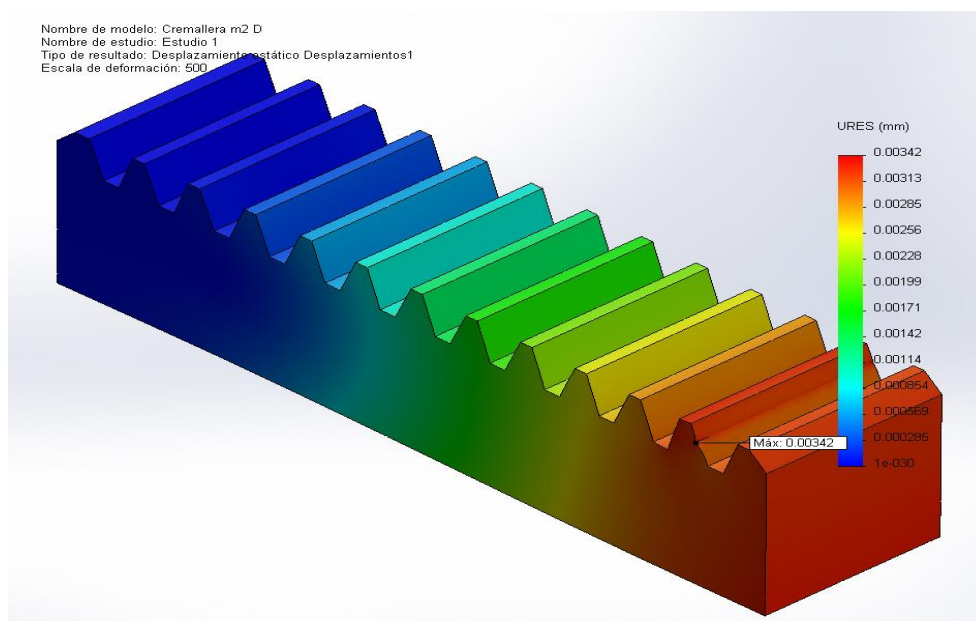
En la figura 3.12 se tiene una tensión de 82.55 MPa, este parámetro está dentro de las tensiones que pueden soportar el material que es de 351 MPa, por lo tanto el diseño es seguro para su ejecución.



**Figura 3.12.: Tensión de Von Mises de la cremallera.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

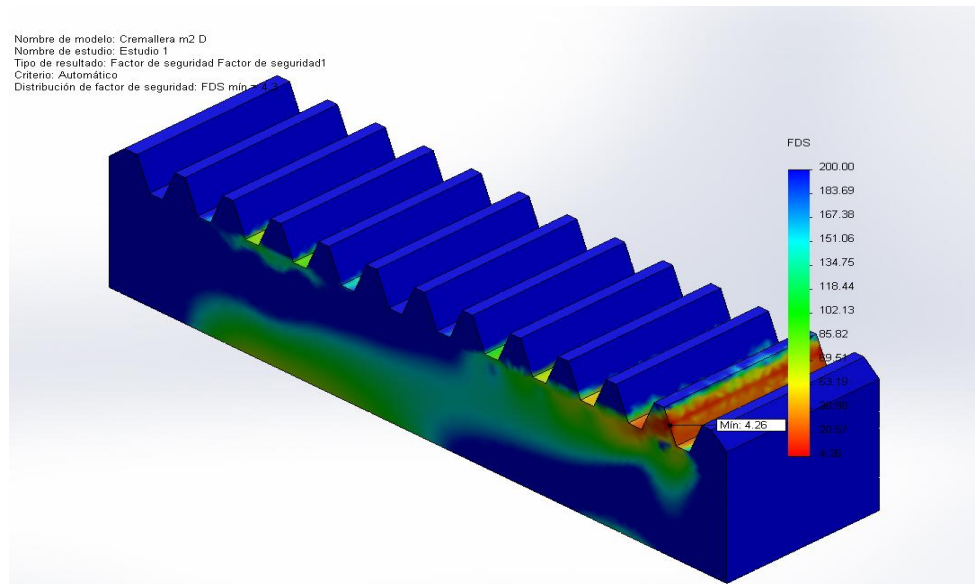
El desplazamiento al que va a estar sometido es de 0.00342 mm, por lo que es mínimo y no afecta al sistema (Ver figura 3.13).



**Figura 3.13.: Desplazamiento resultante de la cremallera.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

En la figura 3.14 se tiene un factor de seguridad de 4.26 por lo que este parámetro está dentro de lo estimado en el diseño.



**Figura 3.14.: Factor de diseño de la cremallera.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

### 3.4.4. DISEÑO DEL EJE DEL BRAZO DE SUJECIÓN.

Este eje permite el giro del brazo de sujeción de las pistolas de pintar por acción del torque que transmite el piñón.

Por disponibilidad en el mercado, facilidad de maquinado y costos, el eje se fabricará con acero estructural ASTM A36.

#### a. DETERMINACIÓN DE CARGAS.

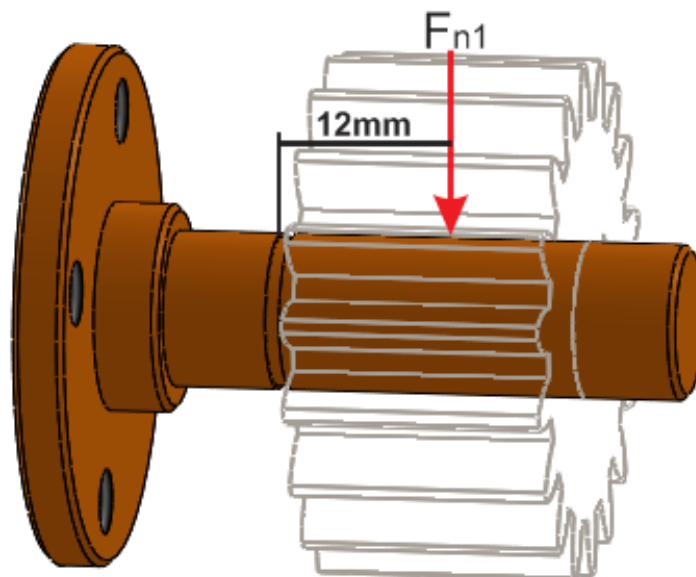
El eje debe soportar tanto el torque máximo ( $T_b$ ) requerido para generar el movimiento de inclinación de las pistolas, así como la fuerza resultante que se transmite desde los dientes del piñón ( $F_{n1}$ ), esto se calculó anteriormente.

$$T_b = 9.05 \text{ Nm}$$

$$F_{n1} = 535,1 \text{ N}$$

### b. ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN EL EJE.

A partir de la figura 3.15 el momento máximo ( $M_{max}$ ) que soporta el eje viene dado por:



**Figura 3.15.: Cargas que actúan en el eje del brazo de sujeción.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

$$M_{max} = F_{n1} \cdot x \quad \text{Ec.3.7.}$$

$$M_{max} = 535.1 \text{ N} \cdot 0.012 \text{ m}$$

$$M_{max} = 6.42 \text{ Nm}$$

Para un factor de diseño  $FS = 3$ , el diámetro del eje se determina utilizando la ecuación para el diseño de flechas sujetas a cargas de flexión y torsión mediante la teoría de la energía de distorsión.

$$\phi_{eje} = \left[ \frac{32 \cdot FS}{\pi \cdot S_y} \left( M_{max}^2 + \frac{3}{4} T_b^2 \right)^{1/2} \right]^{1/3} \quad \text{Ec.3.8. (Mott, 2006, pág. 730)}$$

$$\phi_{eje} = \left[ \frac{32 \cdot 3}{\pi \cdot 250 \cdot 10^6} \left( 6.42^2 + \frac{3}{4} 9.05^2 \right)^{1/2} \right]^{1/3}$$

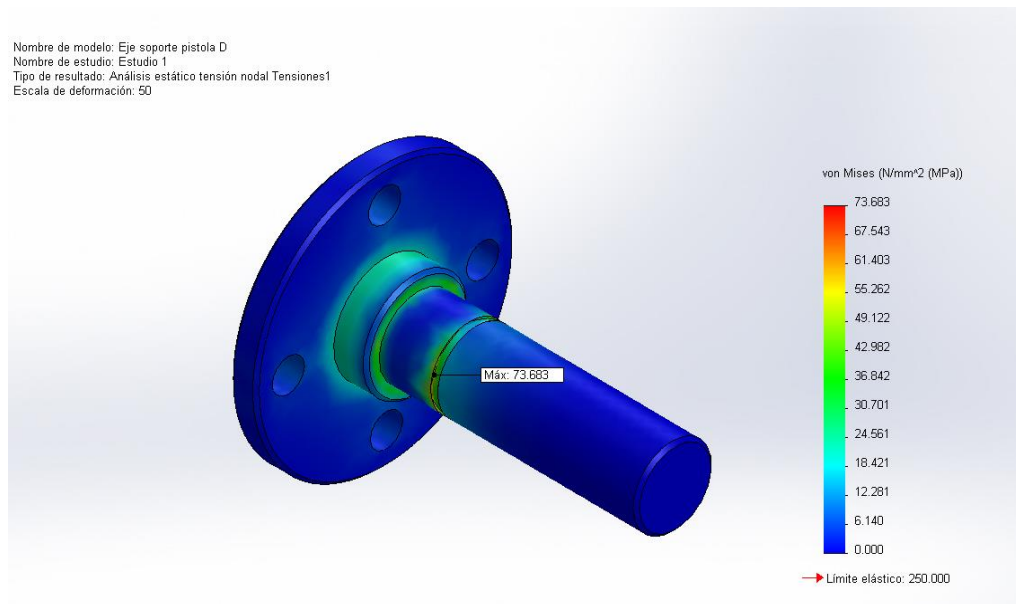
$$\phi_{eje} = 0.0108 \text{ m} = 10.8 \text{ mm}$$

Por lo tanto, se toma un diámetro estándar de 12 mm.

Para comprobar los resultados obtenidos se realiza el análisis de esfuerzos del eje en el programa SolidWorksSimulation.

### **b.1. INFORME DE SOLIDWORKS.**

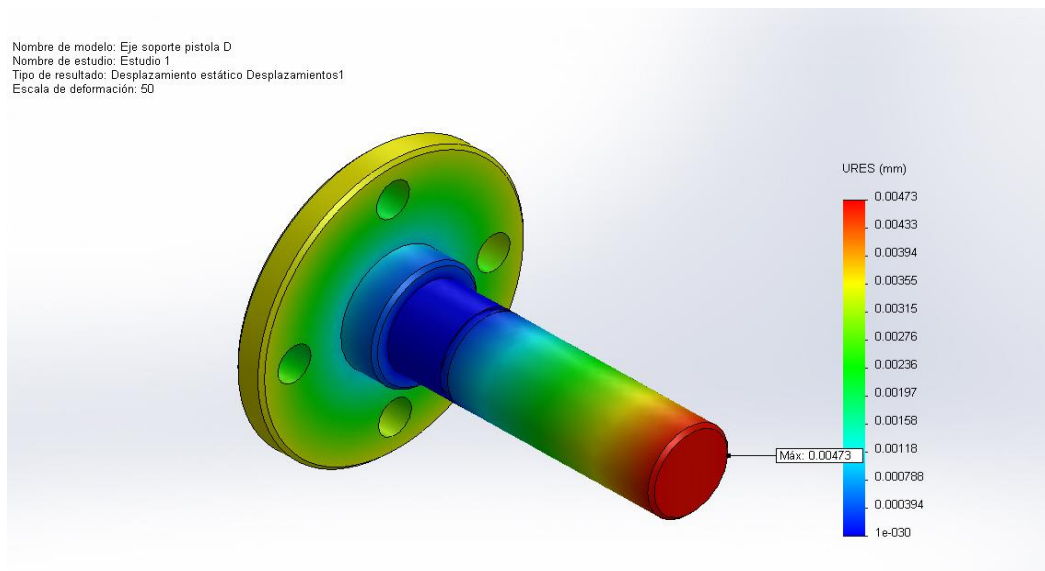
En la figura 3.16 se tiene una tensión de 73.68 MPa, este parámetro está dentro de las tensiones que pueden soportar el material que es de 250 MPa, por lo tanto el diseño es seguro para su ejecución.



**Figura 3.16.: Tensión de Von Mises del eje del brazo de sujeción.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

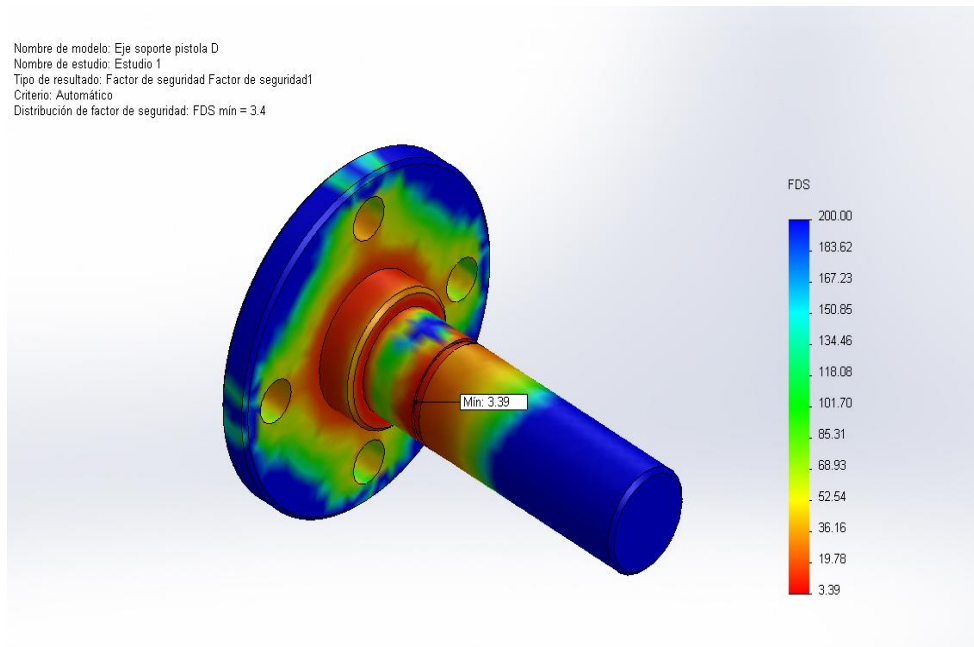
El desplazamiento al que va a estar sometido es de 0.00473 mm, por lo que es mínimo y no afecta al sistema (Ver figura 3.17).



**Figura 3.17.: Desplazamiento resultante del eje del brazo de sujeción.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

En la figura 3.18 se tiene un factor de seguridad de 3.39 por lo que este parámetro está dentro de lo estimado en el diseño.



**Figura 3.18.: Factor de diseño del eje del brazo de sujeción.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

### 3.5. DISEÑO DEL SISTEMA DE MOVIMIENTO TRANSVERSAL.

Este sistema va acoplado al carro transversal y convierte el movimiento de giro del motor en movimiento lineal del carro transversal. Este sistema debe vencer las fuerzas de fricción debidas al peso de los diferentes componentes, por lo que, a fin de reducir la fricción y tener un control preciso del movimiento se utilizará un mecanismo de husillo de bolas y tuerca.

#### 3.5.1. DETERMINACIÓN DE CARGAS.

Este sistema debe soportar el peso de cada uno de los componentes mostrados en la figura 3.2:

Pistola de pintar	2 x 20 N =	40 N
Brazo de sujeción de las pistolas		5 N
Piñón para movimiento de inclinación		3 N
Cremallera para movimiento de inclinación		4 N
Eje del brazo de sujeción		1 N
Cilindro neumático		10 N
Husillo de bolas con tuerca		22 N
Guías transversales	2 x 30 N =	60 N
Rodamientos lineales	4 x 1 N =	4N
Carro transversal		16 N
	<b>TOTAL =</b>	<b>165 N</b>

Por seguridad se trabajará con un factor de carga de 1.2 (Ver anexo B-2), por lo que:

$$W_T = 1.2 \cdot 165 \text{ N} = F_m$$

$$F_m = 198 \text{ N} \approx 200 \text{ N}$$

Dónde:

$F_m$  = Carga media constante.

$W_T$  = Peso total.

### 3.5.2. SELECCIÓN DEL HUSILLO A BOLAS DEL MOVIMIENTO TRASVERSAL.

La longitud del husillo de bolas tendrá una longitud de 1.35 m y en función de la tabla del Anexo A-1 se selecciona un sistema estándar con tuerca única.

Considerando una expectativa de vida de la cabina de pintura de 10 años durante los cuales el mecanismo de movimiento trabajará 4 horas diarias por 5 días cada semana y asumiendo que se utilizará un motor eléctrico



de 1800 rpm, se tiene que la vida nominal del husillo de bolas ( $L$ ) en revoluciones es:

$$L = 10 \text{ años} \cdot \frac{52 \text{ semanas}}{1 \text{ año}} \cdot \frac{5 \text{ dias}}{1 \text{ semana}} \cdot \frac{4 \text{ horas}}{1 \text{ dia}} \cdot \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hora}} \cdot \frac{1800 \text{ rev}}{1 \text{ min}}$$

$$L = 1123 \cdot 10^6 \text{ rev}$$

Por lo tanto, la vida en millones de revolución ( $L_{10}$ ) es:

$$L_{10} = 1123$$

El coeficiente de carga dinámica requerida ( $C_{req}$ ), viene dado por (Ver anexo M-3):

$$C_{req} = F_m \cdot L_{10}^{1/3} \quad \text{Ec.3.9.}$$

$$C_{req} = 200 \text{ N} \cdot 1123^{1/3}$$

$$C_{req} = 2078.8 \text{ N} = 2.08 \text{ kN}$$

Del catálogo SKF del Anexo A-2 se selecciona el husillo de PND 16 x R5 con rosca derecha que tiene un coeficiente de carga estática de 5.7 kN y paso de 5 mm, mientras que del Anexo A-3 se selecciona la tuerca correspondiente.

La velocidad de giro crítica del husillo ( $n_{cr}$ ) viene dado por (Ver anexo M-3):

Ec.3.10.

$$n_{cr} = 49 \cdot 10^6 \frac{f_1 \cdot d_2}{l^2}$$

$$n_{cr} = 49 \cdot 10^6 \cdot \frac{5.6 \cdot 12.7}{1350^2}$$

$$n_{cr} = 1912.14 \text{ rpm}$$

Debido a que la velocidad de giro del husillo de 1800 rpm (igual a la velocidad del motor) es menor que la velocidad crítica calculada, el husillo seleccionado es adecuado, la carga axial de pandeo con un factor de seguridad de 3 es (Ver anexo M-3):

*Ec.3.11.*

$$F_C = \frac{34 \cdot 10^3 \cdot f_3 \cdot d_2^4}{l^2}$$

$$F_C = \frac{34 \cdot 10^3 \cdot 4 \cdot 12.7^4}{1350^2}$$

$$F_C = 1941.3 \text{ N}$$

Como la carga que debe desplazar el husillo es de 200 N y esta es menor que los 1941.3 N que producen pandeo, el husillo seleccionado no se pandea.

La eficiencia teórica del sistema ( $\eta$ ) viene dado por (Ver anexo M-4):

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{\pi \cdot d_0}{P_h} \cdot \mu} \quad \text{Ec.3.12.}$$

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{\pi \cdot 16}{5} \cdot 0.006}$$

$$\eta = 0.94$$

La eficiencia práctica ( $\eta_p$ ) es (Ver anexo M-4):

$$\eta_p = 0.9 \cdot \eta \quad \text{Ec.3.13.}$$

$$\eta_p = 0.9 \cdot 0.94$$

$$\eta_p = 0.846 = 84.6\%$$

El torque de entrada ( $T$ ) requerido se obtiene a partir de (Ver anexo M-4):

*Ec.3.14.*

$$T = \frac{F \cdot P_h}{2000 \cdot \pi \cdot \eta_p}$$

$$T = \frac{200 \cdot 5}{2000 \cdot \pi \cdot 0.846}$$

$$T = 0.188 \text{ Nm}$$

Por lo tanto la potencia de entrada ( $P$ ) que debe entregar el motor eléctrico al husillo de bolas es: (Ver anexo M-4):

*Ec.3.15.*

$$P = \frac{F \cdot n \cdot P_h}{6000 \cdot \eta_p}$$

$$P = \frac{200 \cdot 1800 \cdot 5}{60000 \cdot 0.846}$$

$$P = 35.46 \text{ W}$$

A partir de la potencia se determina la fuerza de empuje ( $F_{Ax}$ ) que aplica la tuerca al carro transversal en dirección axial.

*Ec.3.16.*

$$P = \frac{F_{Ax} \cdot \vec{V}}{\eta_p}$$

$$F_{Ax} = \frac{P \cdot \eta_p}{\vec{V}}$$

$$F_{Ax} = \frac{35.46 \text{ Nm/s} \cdot 0.846}{0.15 \text{ m/s}}$$

$$F_{Ax} = 200 \text{ N}$$

### 3.5.3. DISEÑO DE LAS GUÍAS DEL MOVIMIENTO TRANSVERSAL.

Los ejes guías tienen la misma longitud que el husillo, es decir, 1.35 m y se fabricarán con eje de acero laminado ASTM A36 al que se le aplicará un tratamiento superficial de cromado para evitar la corrosión.

#### a. DETERMINACIÓN DE CARGAS.

Las guías deben soportar el peso de todos los componentes del sistema para sujeción y movimiento transversal de las pistolas, es decir, 200 N, pero debido a que el sistema cuenta con dos ejes guías, la fuerza que actúa en cada uno es:

*Ec.3.17.*

$$F_G = \frac{W_T}{2}$$

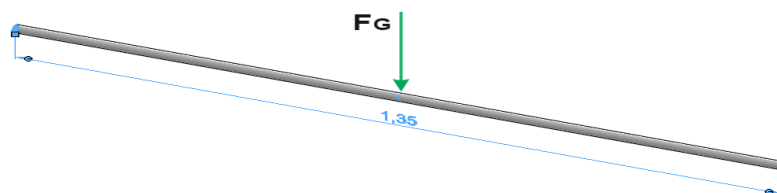
$$F_G = \frac{200 \text{ N}}{2} = 100 \text{ N}$$

Dónde:

$$F_G = \text{ Fuerza de la guía}$$

#### b. ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN LAS GUÍAS.

A partir de la figura 3.19 el momento máximo ( $M_{max}$ ) que se produce en el eje guía en el caso crítico cuando el carro transversal se encuentra en el punto medio, viene dado por:



**Figura 3.19.: Cargas que actúan en el eje guía.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

*Ec.3.18.* (Mott, 2006, págs. A-12)

$$M_{max} = \frac{F_G \cdot x \cdot l}{4}$$

$$M_{max} = \frac{100 \text{ N} \cdot 1.35 \text{ m}}{4}$$

$$M_{max} = 33.75 \text{ Nm}$$

El esfuerzo normal generado por el momento máximo ( $M_{max}$ ) debe ser menor que el límite de fluencia del acero ASTM A36 dividido para el factor de seguridad  $FS$ , por lo tanto el diámetro de las guías ( $d_G$ ) se calcula a partir de:

*Ec.3.19.* (Mott, 2006, pág. 189)

$$\sigma_{flex} \leq \frac{S_y}{FS}$$

*Ec.3.20.* (Mott, 2006, pág. 205)

$$\sigma_{flex} = \frac{M_{max}}{Z} = \frac{M_{max}}{\frac{\pi \cdot d_G^3}{32}}$$

Reemplazando y despejando se tiene:

*Ec.3.21.*

$$d_G = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot FS \cdot M_{max}}{\pi \cdot S_y}}$$

$$d_G = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 3 \cdot 33.75 \text{ Nm}}{\pi \cdot 250 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2}}$$

$$d_G = 0.0161 \text{ m} = 16.1 \text{ mm}$$

Por lo tanto, se toma un eje con un diámetro estándar de 20 mm.

El esfuerzo de flexión para la guía de 20 mm de diámetro viene dado por:

Ec.3.22.

$$\sigma_{flex} = \frac{32 \cdot M_{max}}{\pi \cdot d_G^3}$$

$$\sigma_{flex} = \frac{32 \cdot 33.75}{\pi \cdot 0.020^3}$$

$$\sigma_{flex} = 42.9 \cdot 10^6 Pa = 42.9 MPa$$

Entonces el factor de seguridad es:

Ec.3.23.

$$FS = \frac{S_y}{\sigma_{flex}}$$

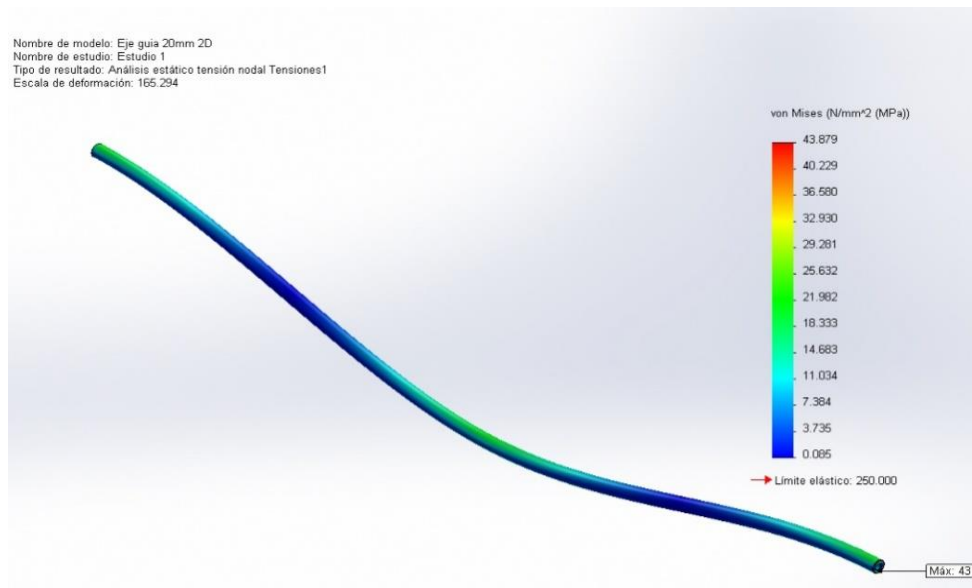
$$FS = \frac{250 MPa}{42.9 MPa}$$

$$FS = 5.82$$

Para comprobar el diseño se realiza el análisis de esfuerzos del eje guía en el programa SolidWorksSimulation.

### **b.1. INFORME DE SOLIDWORKS.**

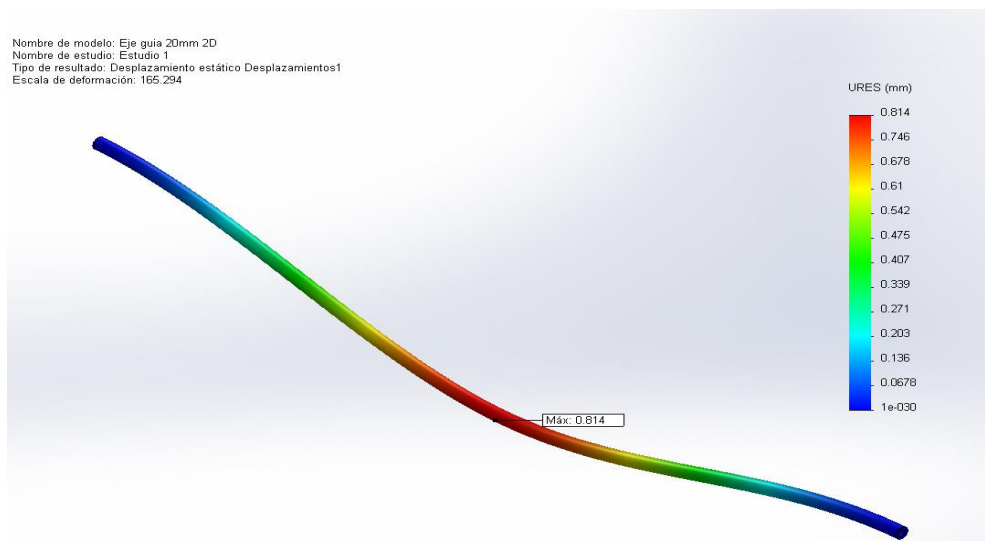
En la figura 3.20 se tiene una tensión de 43.87 MPa, este parámetro está dentro de las tensiones que pueden soportar el material que es de 250 MPa, por lo tanto el diseño es seguro para su ejecución.



**Figura 3.20.: Tensión de Von Mises en el eje guía transversal.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

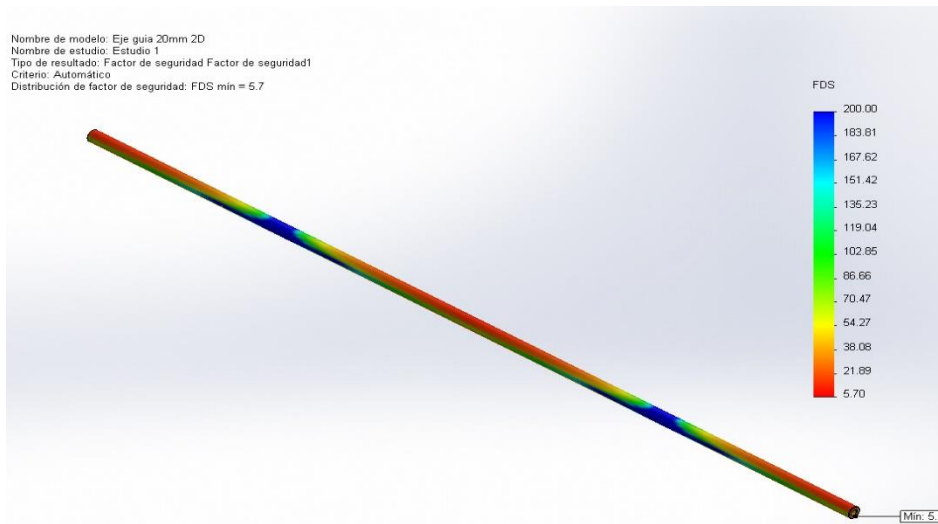
El desplazamiento al que va a estar sometido es de 0.814 mm, por lo que es mínimo y no afecta al sistema (Ver figura 3.21).



**Figura 3.21.: Desplazamiento resultante en el eje guía transversal.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

En la figura 3.22 se tiene un factor de seguridad de 5.7 por lo que este parámetro está dentro de lo estimado en el diseño.



**Figura 3.22.: Factor de diseño en el eje guía transversal.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

### 3.5.4. SELECCIÓN DE LOS RODAMIENTOS LINEALES TRANSVERSALES.

Los rodamientos lineales deben tener un diámetro interno ( $F_W$ ) de 20 mm igual al diámetro de las guías. En base a los requerimientos funcionales de la máquina, de la figura del Anexo B-1 se selecciona rodamientos del tipo Compact/eLine.

La carga que soporta el rodamiento es:

*Ec.3.24.*

$$F_G = \frac{W_T}{2}$$

$$F_G = \frac{200 \text{ N}}{2}$$

$$F_G = 100 \text{ N}$$



Para una guía de acero con cromado superficial con una dureza mínima de 40 HRC, el factor de dureza ( $f_H$ ), se obtiene del Anexo B-2.

$$f_H = 0.31$$

Tomando en cuenta que la temperatura de operación de la cabina de pintura es menor a 100°C, el factor de temperatura ( $f_T$ ) se obtiene del Anexo B-2.

$$f_T = 1$$

Ya que la longitud de la carrera de trabajo es mayor que 260 mm, el factor de carrera ( $f_W$ ) es (Ver anexo B-3):

$$f_W = 1$$

Para una expectativa de vida de los rodamientos de  $1 \times 10^6$  ciclos de trabajo, el recorrido lineal total de los rodamientos ( $L$ ) es:

$$L = 2 \cdot 1.35 \text{ m} \cdot 1 \cdot 10^6 \quad \text{Ec.3.25.}$$

$$L = 2,7 \text{ m} \cdot 1 \cdot 10^6$$

$$L = 27.0 \cdot 10^5 \text{ m}$$

Por lo tanto, el factor de vida del rodamiento ( $f_L$ ) es (Ver anexo B-3):

$$f_L = 0.33$$

La capacidad de carga dinámica ( $C$ ) requerida para el rodamiento viene dado por (Ver anexo B-2.):

Ec.3.26.

$$C = \frac{F_G}{f_H \cdot f_T \cdot f_W \cdot f_L}$$

$$C = \frac{100 \text{ N}}{0.31 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0.33} = 977.5 \text{ N}$$

Del catálogo de rodamientos lineales SKF (Ver anexo B-4) se selecciona un rodamiento LBBR 20 que tiene una capacidad de carga dinámica de 1160 N.

### 3.5.5. DISEÑO DEL CARRO DE MOVIMIENTO TRANSVERSAL

Sobre este elemento se montan los diferentes componentes que sujetan y generan los movimientos de inclinación y transversal de las pistolas de pintar, por lo tanto debe ser capaz de soportar las cargas que cada uno de ellos genera.

Por disponibilidad en el mercado, facilidad de maquinado y costos, este elemento se fabricará con planchas de acero estructural ASTM A36.

#### a. DETERMINACIÓN DE CARGAS.

El carro transversal debe soportar las cargas que se indican a continuación y los puntos de aplicación de dichas cargas se encuentran en los puntos de apoyo o sujeción de cada componente:

- Fuerza tangencial requerida para girar el brazo de sujeción ( $F_{t1} = 502,8 \text{ N}$ ) que actúa en dirección vertical en el buje de apoyo del eje de giro.

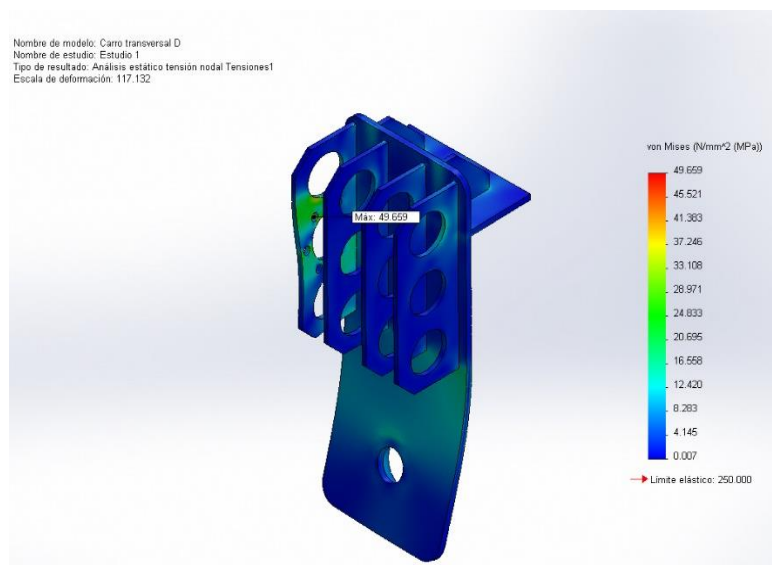
- Fuerza radial ( $F_{r1} = 183,0 N$ ) que actúa en dirección vertical en el buje de apoyo del eje de giro.
- Fuerza de empuje del émbolo cuya magnitud es igual a la fuerza tangencial y actúa en dirección vertical en los puntos de apoyo del cilindro neumático.
- Fuerza de empuje transmitida por el husillo de bolas ( $F_{Ax} = 200 N$ ) que actúa en dirección axial en los puntos de sujeción de la tuerca del husillo.

## b. ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN EL CARRO TRANSVERSAL.

A partir del modelo 3D y las fuerzas calculadas en las secciones anteriores se realiza el análisis de esfuerzos del carro transversal en el programa SolidWorksSimulation.

### b.1. INFORME DE SOLIDWORKS.

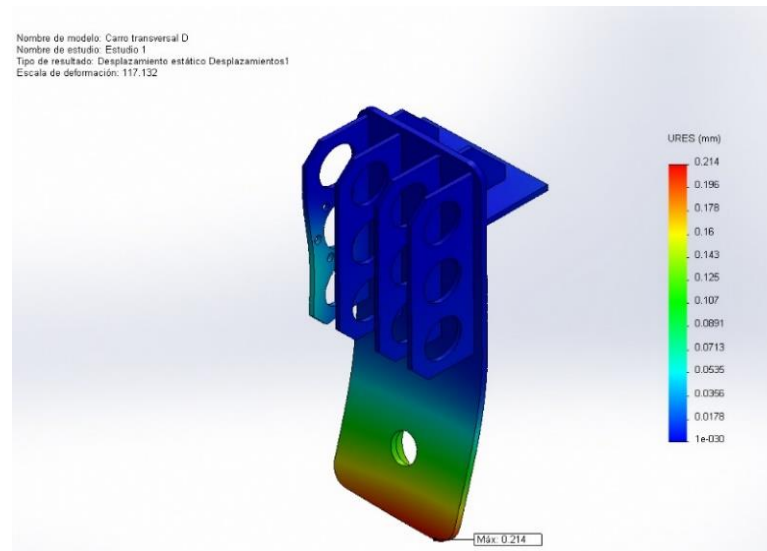
En la figura 3.23 se tiene una tensión de 49.65 MPa, este parámetro está dentro de las tensiones que pueden soportar el material que es de 250 MPa, por lo tanto el diseño es seguro para su ejecución.



**Figura 3.23.: Tensión de Von Mises del carro transversal.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

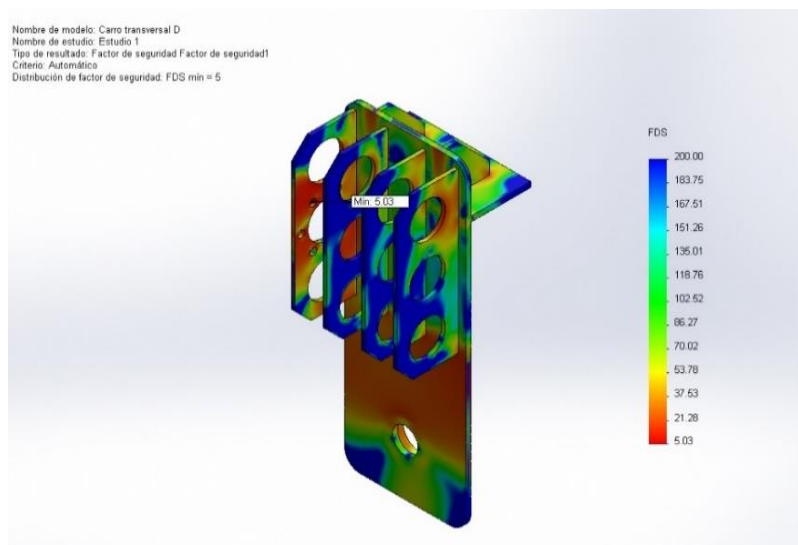
El desplazamiento al que va a estar sometido es de 0.214 mm, por lo que es mínimo y no afecta al sistema (Ver figura 3.24).



**Figura 3.24.: Desplazamiento resultante del carro transversal.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

En la figura 3.25 se tiene un factor de seguridad de 5.03 por lo que este parámetro está dentro de lo estimado en el diseño.

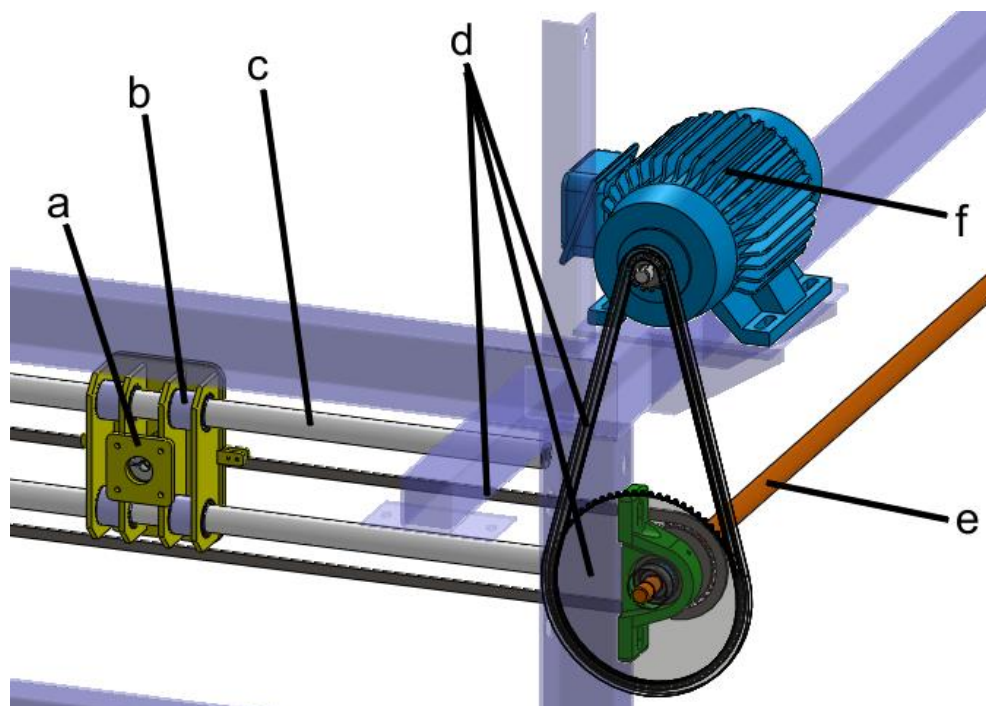


**Figura 3.25.: Factor de diseño del carro transversal.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

### 3.6. DISEÑO DEL SISTEMA PARA EL MOVIMIENTO LONGITUDINAL DE LAS PISTOLAS DE PINTAR.

Este sistema genera el movimiento longitudinal de las pistolas de pintar a una velocidad de 1.0 m/s (196.85 ft/min) como se muestra en la figura 3.26, está compuesto de los siguientes elementos:



**Figura 3.26.: Sistema para el movimiento longitudinal de las pistolas de pintar.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

- Carro para el movimiento longitudinal de las pistolas.
- Rodamientos lineales para el movimiento longitudinal de las pistolas.
- Guías para el movimiento longitudinal de las pistolas.
- Transmisión por rueda dentada y cadena.
- Eje para transmisión del movimiento longitudinal.
- Motor eléctrico.

### 3.6.1. DISEÑO DEL CARRO DE MOVIMIENTO LONGITUDINAL.

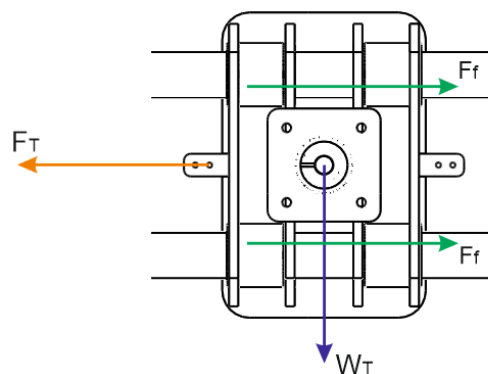
Este carro a la vez que soporta todos los componentes del sistema para movimiento transversal, es el encargado de mover el sistema de pintado a lo largo de la estructura soporte.

Al igual que el carro transversal, este elemento se fabricará con planchas de acero estructural ASTM A36.

#### a. DETERMINACIÓN DE CARGAS.

El carro longitudinal debe soportar las cargas que se indican a continuación y los puntos de aplicación de dichas cargas se encuentran en los puntos de apoyo o sujeción de cada componente:

- Peso total de todos los elementos que forman parte del sistema para sujeción y movimiento transversal de las pistolas de pintar ( $W_T \approx 200\text{ N}$ ).
- Fuerza de tensión transmitida por la cadena ( $F_T$ ), necesaria para mover el carro longitudinal a lo largo de las guías, la misma que se obtiene a partir de la figura 3.27.



**Figura 3.27.: Cargas que actúan sobre el carro longitudinal.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

$$F_T = 2 \cdot F_f \quad \text{Ec.3.27.}$$

$$F_T = 2 \cdot \mu_{ac-ac} \cdot N2$$

$$F_T = 2 \cdot \mu_{ac-ac} \cdot W_T$$

$$F_T = 2 \cdot 0.5 \cdot 200 \text{ N}$$

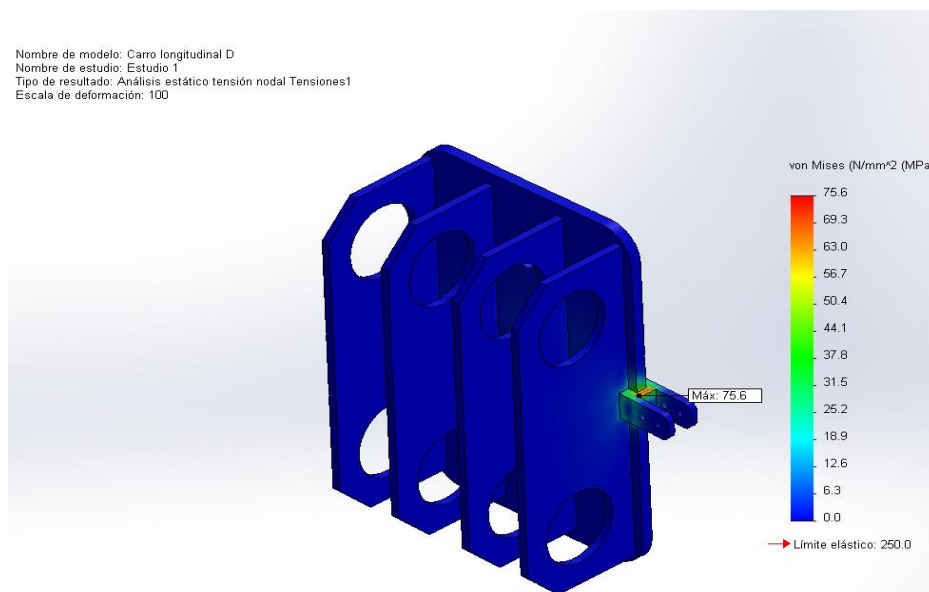
$$F_T = 200 \text{ N}$$

## b. ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN EL CARRO LONGITUDINAL.

A partir del modelo 3D y las fuerzas calculadas en las secciones anteriores se realiza el análisis de esfuerzos del carro transversal en el programa SolidWorksSimulation.

### b.1. INFORME DE SOLIDWORKS.

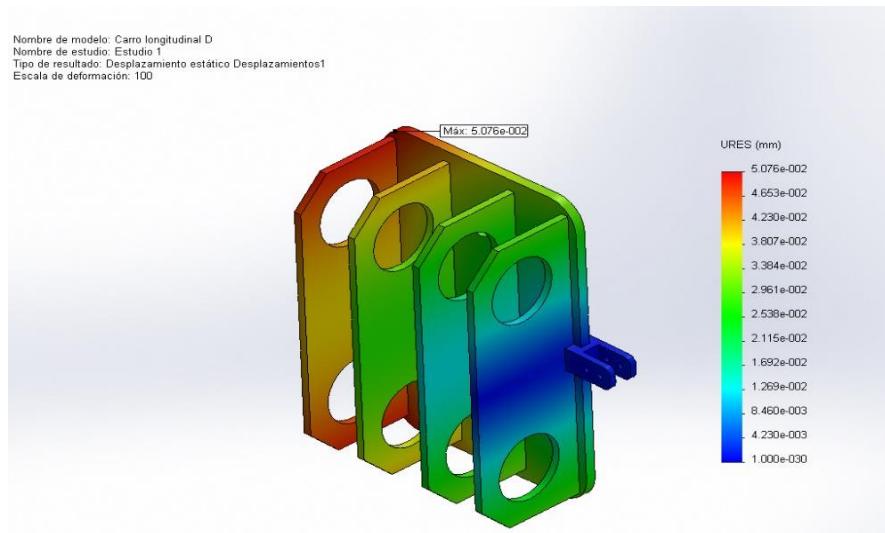
En la figura 3.28 se tiene una tensión de 75.6 MPa, este parámetro está dentro de las tensiones que pueden soportar el material que es de 250 MPa, por lo tanto el diseño es seguro para su ejecución.



**Figura 3.28.: Tensión de Von Mises del carro longitudinal.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

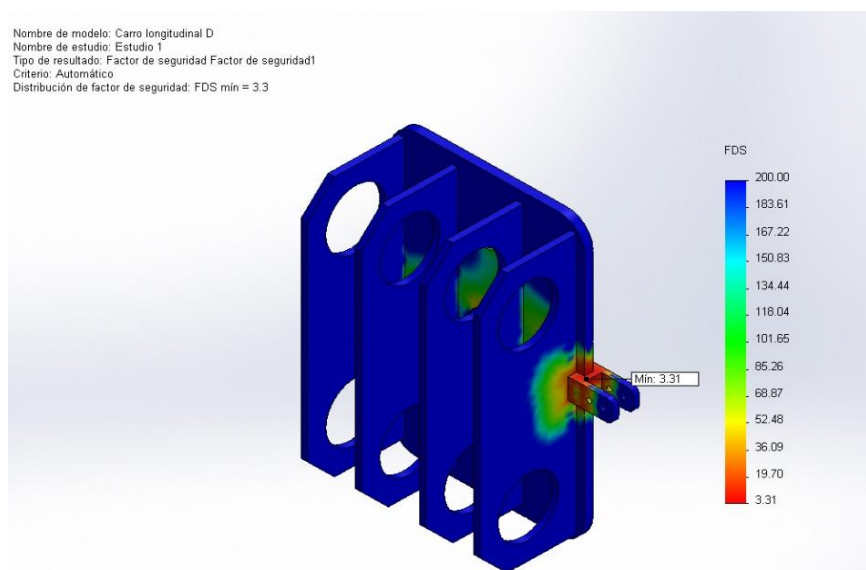
El desplazamiento al que va a estar sometido es de 0.0507618 mm, por lo que es mínimo y no afecta al sistema (Ver figura 3.29).



**Figura 3.29.: Desplazamiento resultante del carro longitudinal.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

En la figura 3.30, se tiene un factor de seguridad de 3.31, por lo que este parámetro está dentro de lo estimado en el diseño.



**Figura 3.30.: Factor de diseño del carro longitudinal.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)



### 3.6.2. DISEÑO DEL SISTEMA DE MOVIMIENTO LONGITUDINAL.

Este sistema va acoplado al carro longitudinal y convierte el movimiento de giro del motor eléctrico en movimiento lineal del carro longitudinal mediante un sistema de reductor de velocidad y de transmisión por rueda dentada y cadena. Este sistema debe vencer las fuerzas de fricción debidas al peso de los diferentes componentes tanto del sistema de movimiento transversal como longitudinal.

#### a. DETERMINACIÓN DE CARGAS.

Este sistema debe soportar el peso de los diferentes componentes del sistema de movimiento transversal y longitudinal mostrados en la figura 3.2.

Peso total del sistema de movimiento transversal		165 N
Guías longitudinales (a cada lado)	2 x 60 N =	120 N
Rodamientos lineales	4 x 1 N =	4N
Carro longitudinal		10 N
Motor eléctrico		10 N
	<b>TOTAL =</b>	<b>309 N</b>

Por seguridad se multiplica este peso por un factor de carga de 1.2, por lo que:

$$W_T = 1.2 \cdot 309 \text{ N} = F_m \quad \text{Ec.3.28.}$$

$$F_m = 370.8 \text{ N} \approx 370 \text{ N}$$

Dónde:

$$F_m = \text{Carga media constante.}$$

### 3.6.3. DISEÑO DE LAS GUÍAS LONGITUDINALES.

Para garantizar que se puede pintar completamente las puertas, las guías longitudinales tienen una longitud de 2.5 m y se fabricarán con eje de acero laminado ASTM A36 al que se le aplicará un tratamiento superficial de cromado para evitar la corrosión.

#### a. DETERMINACIÓN DE CARGAS.

Las guías deben soportar el peso de todos los componentes indicados en el acápite anterior, es decir, 370 N, pero debido a que el sistema cuenta con dos guías a cada lado, la fuerza que actúa en cada una es:

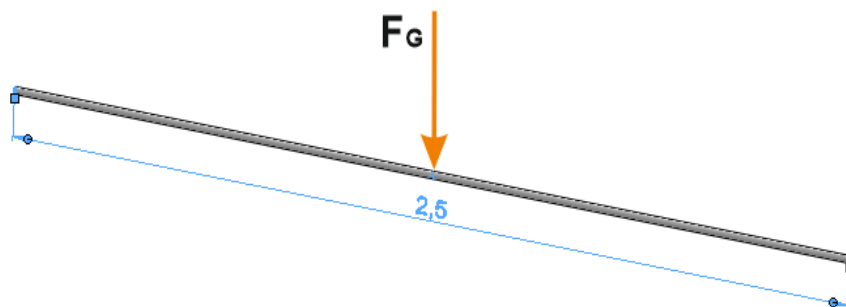
*Ec.3.29.*

$$F_G = \frac{W_T}{4}$$

$$F_G = \frac{370 \text{ N}}{4} = 92.5 \text{ N}$$

#### b. ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN LAS GUÍAS LONGITUDINALES.

A partir de la figura 3.31 el momento máximo ( $M_{max}$ ) que se produce en el eje guía en el caso crítico cuando el carro transversal se encuentra en el punto medio, viene dado por:



**Figura 3.31.: Cargas que actúan en cada guía longitudinal.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

Ec.3.30

$$M_{max} = \frac{F_G \cdot l}{4}$$

$$M_{max} = \frac{92.5 \text{ N} \cdot 2.50 \text{ m}}{4}$$

$$M_{max} = 57.8 \text{ Nm}$$

El esfuerzo normal generado por el momento máximo ( $M_{max}$ ) debe ser menor que el límite de fluencia del acero ASTM A36 dividido para el factor de seguridad  $FS$ , por lo tanto el diámetro de las guías longitudinales ( $d_G$ ) se calcula de forma semejante a las transversales, es decir:

Ec.3.31.

$$d_G = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot FS \cdot M_{max}}{\pi \cdot S_y}}$$

$$d_G = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 3 \cdot 57.8 \text{ Nm}}{\pi \cdot 250 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2}}$$

$$d_G = 0.0192 \text{ m}$$

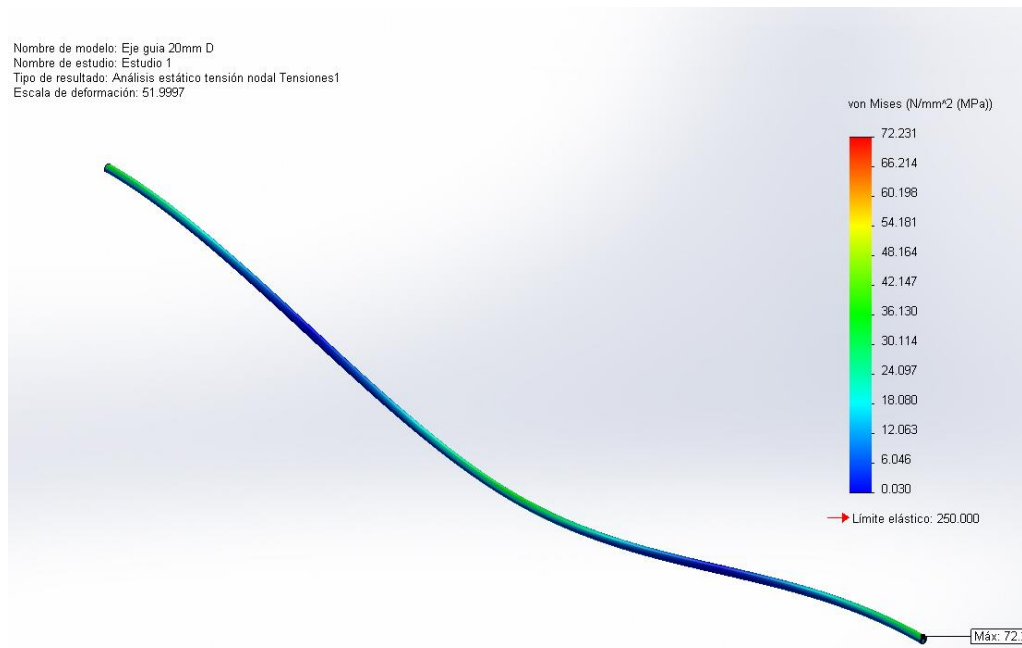
$$d_G = 19.2 \text{ mm}$$

Por lo tanto, se toma un eje con un diámetro estándar de 20 mm.

Para comprobar el diseño se realiza el análisis de esfuerzos del eje guía en el programa SolidWorks Simulation.

### **b.1. INFORME DE SOLIDWORKS.**

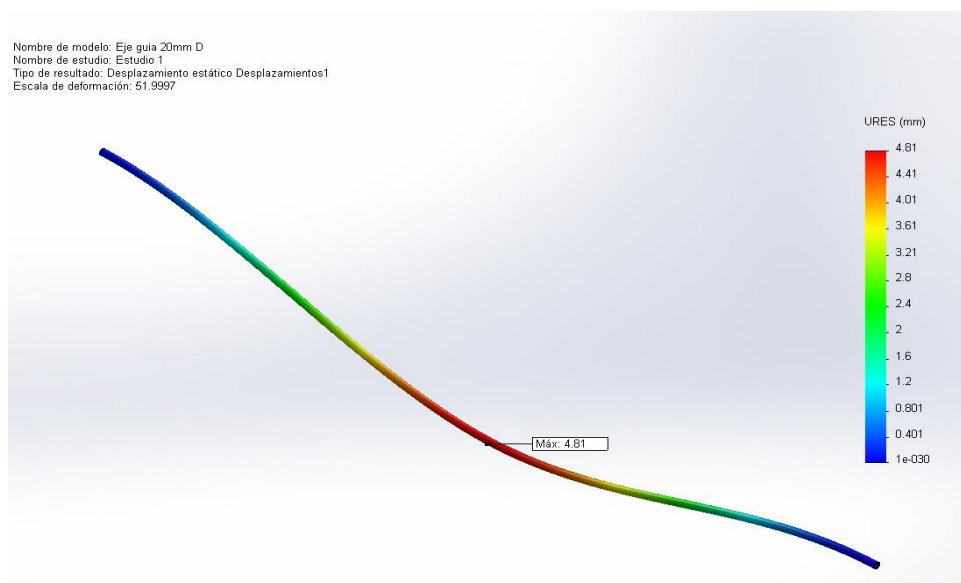
En la figura 3.32 se tiene una tensión de 72.23 MPa, este parámetro está dentro de las tensiones que pueden soportar el material que es de 250 MPa, por lo tanto el diseño es seguro para su ejecución.



**Figura 3.32.: Tensión de Von Mises en la guía longitudinal.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

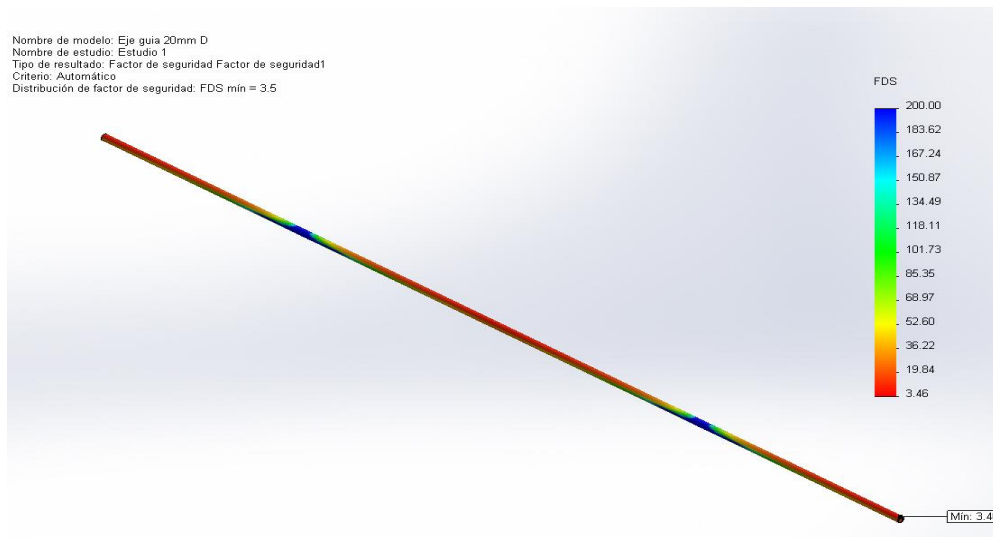
El desplazamiento al que va a estar sometido es de 4.81 mm, por lo que es mínimo y no afecta al sistema (Ver figura 3.33).



**Figura 3.33.: Desplazamiento resultante en la guía longitudinal.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

En la figura 3.34 se tiene un factor de seguridad de 3.46 por lo que este parámetro está dentro de lo estimado en el diseño.



**Figura 3.34.: Factor de diseño en la guía longitudinal.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

### 3.6.4. SELECCIÓN DE LOS RODAMIENTOS LINEALES LONGITUDINALES.

Los rodamientos lineales deben tener un diámetro interno ( $F_W$ ) de 20 mm igual al diámetro de las guías. En base a los requerimientos funcionales de la máquina, de la figura del Anexo B-1 se selecciona rodamientos Compact/eLine.

La carga ( $F_G$ ) que soporta el rodamiento es:

$$F_G = 92.5 \text{ N}$$

Para una guía de acero con cromado superficial con una dureza mínima de 40 HRC, el factor de dureza ( $f_H$ ), se obtiene del Anexo B-2.

$$f_H = 0.31$$

Tomando en cuenta que la temperatura de operación de la cabina de pintura es menor a 100°C, el factor de temperatura ( $f_T$ ) se obtiene del Anexo B-2.

$$f_T = 1$$

Ya que la longitud de la carrera de trabajo es mayor que 260 mm, el factor de carrera ( $f_W$ ) es (Ver anexo B-3.):

$$f_W = 1$$

Para una expectativa de vida de los rodamientos de  $1 \times 10^6$  ciclos de trabajo, el recorrido lineal total ( $L$ ) de los rodamientos es:

$$L = 2 \cdot 2.5 \text{ m} \cdot 1 \cdot 10^6 \quad \text{Ec.3.32.}$$

$$L = 50.0 \cdot 10^5 \text{ m}$$

Por lo tanto, el factor de vida del rodamiento ( $f_L$ ) es (Ver anexo B-3.):

$$f_L = 0.27$$

La capacidad de carga dinámica ( $C$ ) requerida para el rodamiento viene dado por (Ver anexo B-2.):

Ec.3.33.

$$C = \frac{F_G}{f_H \cdot f_T \cdot f_W \cdot f_L}$$

$$C = \frac{92.5 \text{ N}}{0.31 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0.27}$$

$$C = 1105.1 \text{ N}$$

Del catálogo de rodamientos lineales SKF (Ver anexo B-4) se selecciona un rodamiento LBBR 20 que tiene una capacidad de carga dinámica de 1160 N.

### 3.6.5. SELECCIÓN DE LA TRANSMISIÓN DE RUEDA DENTADA Y CADENA.

Con el fin de seleccionar el tamaño de cadena de rodillos más adecuada para la presente investigación es necesario determinar primero la potencia requerida ( $P_R$ ) para mover el carro transversal a una velocidad de 1 m/s.

$$P_R = F_T \cdot \vec{V}_L \quad \text{Ec.3.34. (Mott, 2006, pág. 798)}$$

$$P_R = 200 \text{ N} \cdot 1.0 \text{ m/s}$$

$$P_R = 200 \text{ W}$$

Para un sistema de transportador con poco impacto y activado mediante un motor eléctrico, el factor de servicio se obtiene de la tabla del Anexo C-1 y su valor es de 1.3, por lo que la potencia de diseño ( $P_D$ ) es:

$$P_D = 1.3 \cdot P_R \quad \text{Ec.3.35.}$$

$$P_D = 1.3 \cdot 200 \text{ W}$$

$$P_D = 260 \text{ W} = 0.35 \text{ hp}$$

De la figura del Anexo C-2 se determina que para un motor que entrega 0.35 hp y gira a 1800 rpm, la rueda dentada pequeña más adecuada cae en la zona RS-25 con  $N_1 = 13$  dientes, la misma que tiene un paso de  $\frac{1}{4}$

plg, mientras que las características de la cadena se muestra en el Anexo D-1.

En la tabla del Anexo D-2 se determina que para las ruedas dentadas No 25, la rueda dentada grande puede tener máximo  $N_2 = 72$  dientes, por lo tanto, la relación de transmisión ( $i$ ) es:

*Ec.3.36.* (Mott, 2006, pág. 293)

$$i = \frac{N_2}{N_1}$$

$$i = \frac{72}{13}$$

$$i = 5.538$$

La velocidad angular de salida viene ( $\omega_2$ ) dado por:

*Ec.3.37.* (Mott, 2006, pág. 293)

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2}$$

$$\omega_2 = \frac{1800 \text{ rpm}}{5.538} = 325 \text{ rpm} = 34.0 \text{ rad/s}$$

Entonces, el diámetro de paso de la rueda dentada ( $\phi_3$ ) requerida para obtener la velocidad de 1 m/s viene dado por:

*Ec.3.38.*

$$\vec{V}_L = \omega_2 \cdot \frac{\phi_3}{2}$$

$$\phi_3 = \frac{2 \cdot 1 \text{ m/s}}{34.0 \text{ rad/s}}$$

$$\phi_3 = 0.0588 \text{ m} = 2.32 \text{ plg}$$



De la tabla del Anexo D-2 se selecciona una rueda dentada No. 25 de 30 dientes, que tiene un diámetro de paso de 2.392 plg (0.0608 m). La fuerza de tensión ( $F_{Tc}$ ) en la cadena se obtiene a partir de:

*Ec.3.39.* (Mott, 2006, pág. 454)

$$F_{Tc} = \frac{33000 \cdot P_D}{\vec{V}_L}$$

$$F_{Tc} = \frac{33000 \cdot 0.35 \text{ hp}}{196.85 \text{ ft/min}}$$

$$F_{Tc} = 58.7 \text{ lb} = 262 \text{ N}$$

### 3.6.6. DISEÑO EJE PARA TRANSMISIÓN DEL MOVIMIENTO LONGITUDINAL.

Este eje se fabricará con eje de acero laminado ASTM A36 y transmite el movimiento de las ruedas dentadas de 30 dientes al carro longitudinal.

#### a. DETERMINACIÓN DE CARGAS.

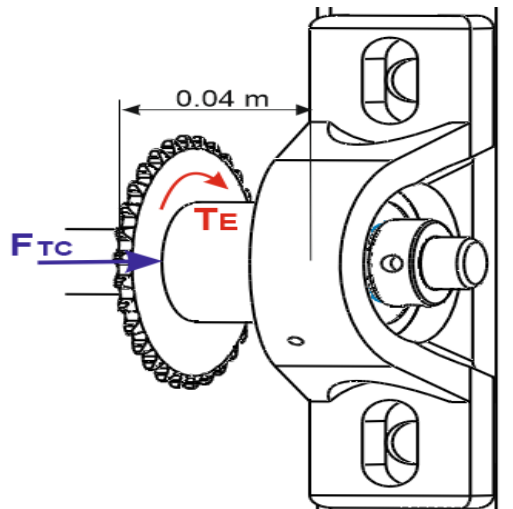
El torque en el eje ( $T_E$ ) para el movimiento longitudinal viene dado por:

$$T_E = F_{Tc} \cdot \frac{\phi_3}{2} \quad \text{Ec.3.40. (Mott, 2006, pág. 535)}$$

$$T_E = 262 \text{ N} \cdot \frac{0.0608}{2}$$

$$T_E = 7.6 \text{ Nm}$$

El momento máximo ( $M_{\max}$ ) que se produce en el eje se obtiene a partir de la figura 3.35:



**Figura 3.35.: Cargas que actúan en el eje de transmisión.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

$$M_{max} = F_{Tc} \cdot x \quad \text{Ec.3.41.}$$

$$M_{max} = 262\text{ N} \cdot 0.04\text{ m} = 10.48\text{ Nm}$$

### b. ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN LAS GUÍAS.

Para un factor de diseño  $FS = 3$ , el diámetro del eje se determina utilizando la ecuación para el diseño de flechas sujetas a cargas de flexión y torsión mediante la teoría de la energía de distorsión.

$$\phi_{eje} = \left[ \frac{32 \cdot FS}{\pi \cdot S_y} \left( M_{max}^2 + \frac{3}{4} T_E^2 \right)^{1/2} \right]^{1/3} \quad \text{Ec.3.42.}$$

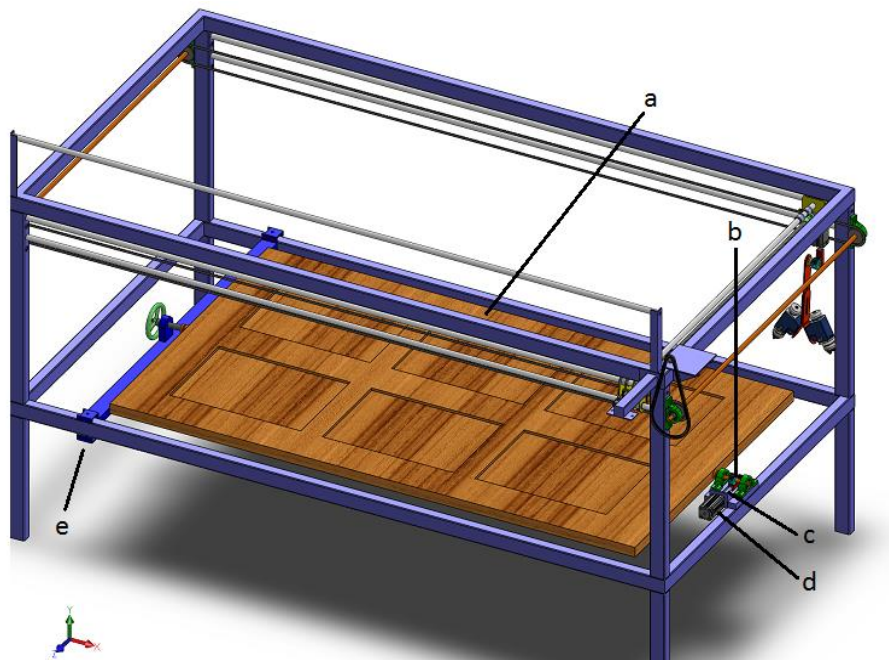
$$\phi_{eje} = \left[ \frac{32 \cdot 3}{\pi \cdot 250 \cdot 10^6} \left( 10.48^2 + \frac{3}{4} 7.6^2 \right)^{1/2} \right]^{1/3}$$

$$\phi_{eje} = 0.0115\text{ m} = 11.5\text{ mm}$$

Por lo tanto, se toma un diámetro estándar de 12 mm.

### 3.7. DISEÑO DEL SISTEMA DE SUJECIÓN Y GIRO DE LA PUERTA.

Este sistema se encarga de sostener la puerta en posición horizontal y girarla 180° para permitir que sea pintada por ambos lados. Como se muestra en la figura 3.36, este sistema está compuesto de los siguientes elementos:



**Figura 3.36.: Sistema de sujeción y giro de la puerta.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

- a. Puerta.
- b. Piñón para el giro de la puerta.
- c. Cremallera para el giro de la puerta.
- d. Cilindro neumático para el giro de la puerta.
- e. Viga soporte de la puerta.

Con el fin de que en este sistema se puedan utilizar los mismos componentes mecánicos y neumáticos utilizados en el sistema de sujeción y giro de las pistolas de pintar, se determina el valor máximo de excentricidad ( $x$ ) aceptable para sujetar la puerta, en función de torque

máximo ( $T_b$ ) requerido para generar el movimiento de inclinación de las pistolas.

$$T_b = W_{puerta} \cdot x \quad \text{Ec.3.43.}$$

$$x = \frac{T_b}{W_{puerta}}$$

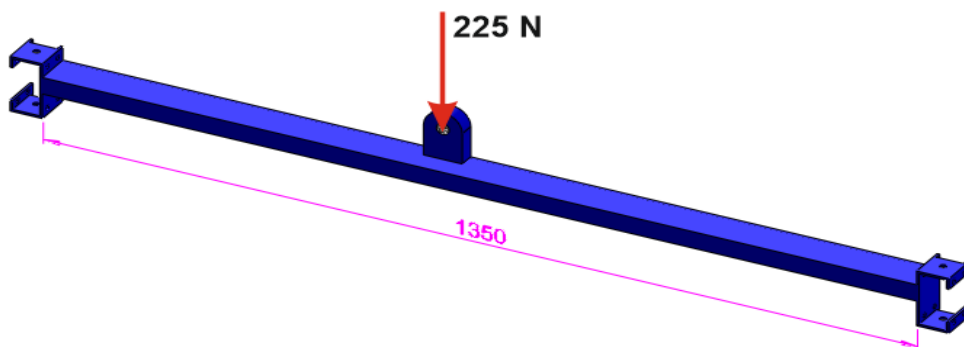
$$x = \frac{9.05 \text{ Nm}}{450 \text{ N}} = 0.02 \text{ m} \approx 20 \text{ mm}$$

### 3.7.1. DISEÑO DE LA VIGA SOPORTE DE LA PUERTA.

Debido a que la viga soporta principalmente tensiones por esfuerzos normales por flexión y que para lograr un diseño eficiente es necesario diseñar un elemento que con el menor peso cumpla con el factor de seguridad mínimo recomendado, en el catálogo de aceros se seleccionará el perfil U que cumpla con estos requerimientos.

#### a. DETERMINACIÓN DE CARGAS.

La carga máxima que debe resistir la viga soporte es igual a la mitad del peso de la puerta (225 N) como se muestra en la figura 3.37.



**Figura 3.37.: Carga sobre la viga soporte de la puerta.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

Para este tipo de carga, el momento flector máximo que soporta la viga viene dado por:

*Ec.3.44.*

$$M_{max} = \frac{F \cdot L}{4}$$

$$M_{max} = \frac{225 \text{ N} \cdot 1.35 \text{ m}}{4}$$

$$M_{max} = 75.94 \text{ Nm}$$

Para determinar el tamaño del Perfil U se despeja el módulo de la sección ( $W_{y-y}$ ) de la ecuación de esfuerzo por flexión:

$$\sigma_{flex} = \frac{M_{max}}{W_{y-y}} \leq \frac{S_y}{FS} \quad \text{Ec.3.45. (Mott, 2006, pág. 189)}$$

Dónde:

$$W_{y-y} \geq \frac{75.94 \text{ Nm} \cdot 3}{250 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2}$$

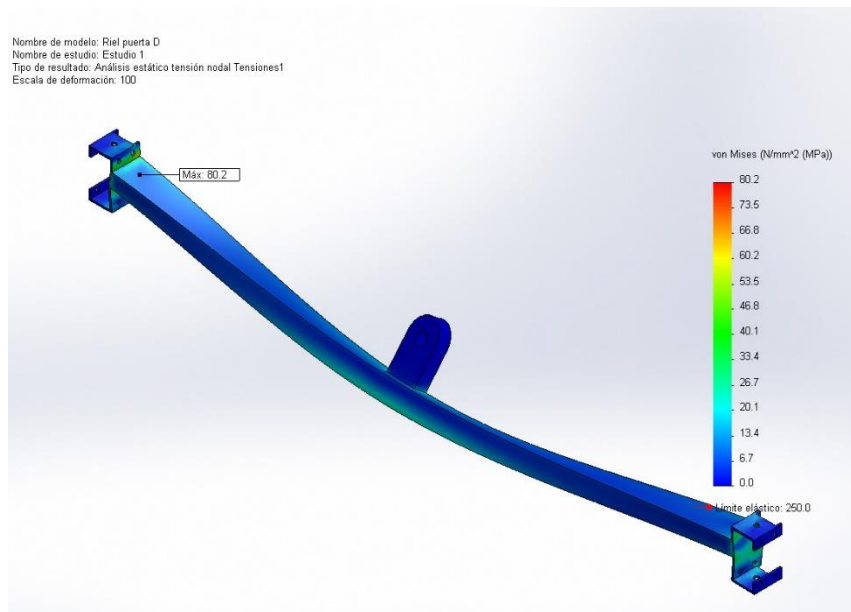
$$W_{y-y} \geq 0.91 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 = 0.91 \text{ cm}^3$$

En el catálogo de perfiles U (Ver anexo E-1) se observa que el valor más próximo al módulo de la sección calculado es de 0.93 cm<sup>3</sup> que corresponde a un Perfil U 60 x 30 x 2.

Para comprobar el diseño se realiza el análisis de esfuerzos de la viga soporte en el programa SolidWorks Simulation.

## **b. INFORME DE SOLIDWORKS.**

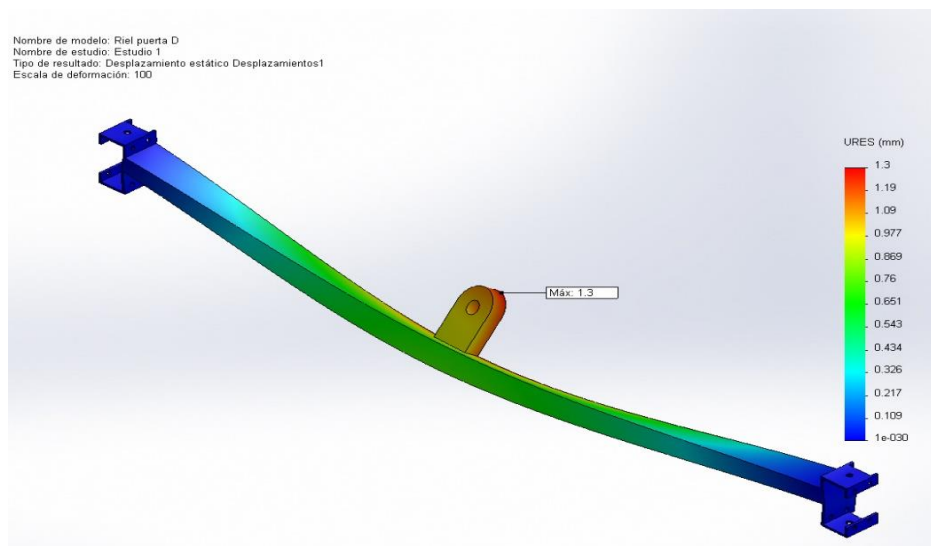
En la figura 3.38 se tiene una tensión de 80.2 MPa, este parámetro está dentro de las tensiones que pueden soportar el material que es de 250 MPa, por lo tanto el diseño es seguro para su ejecución.



**Figura 3.38.: Tensión de Von Mises de la viga soporte de la puerta.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

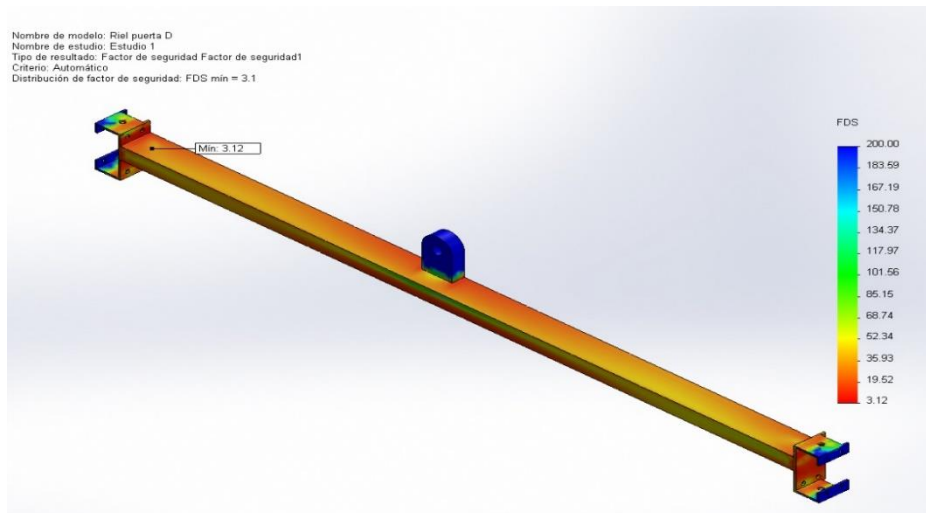
El desplazamiento al que va a estar sometido es de 1.3 mm, por lo que es mínimo y no afecta al sistema (Ver figura 3.39).



**Figura 3.39.: Desplazamiento resultante de la viga soporte de la puerta.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

En la figura 3.40 se tiene un factor de seguridad de 3.1 por lo que este parámetro está dentro de lo estimado en el diseño.



**Figura 3.40.: Factor de diseño de la viga soporte de la puerta.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

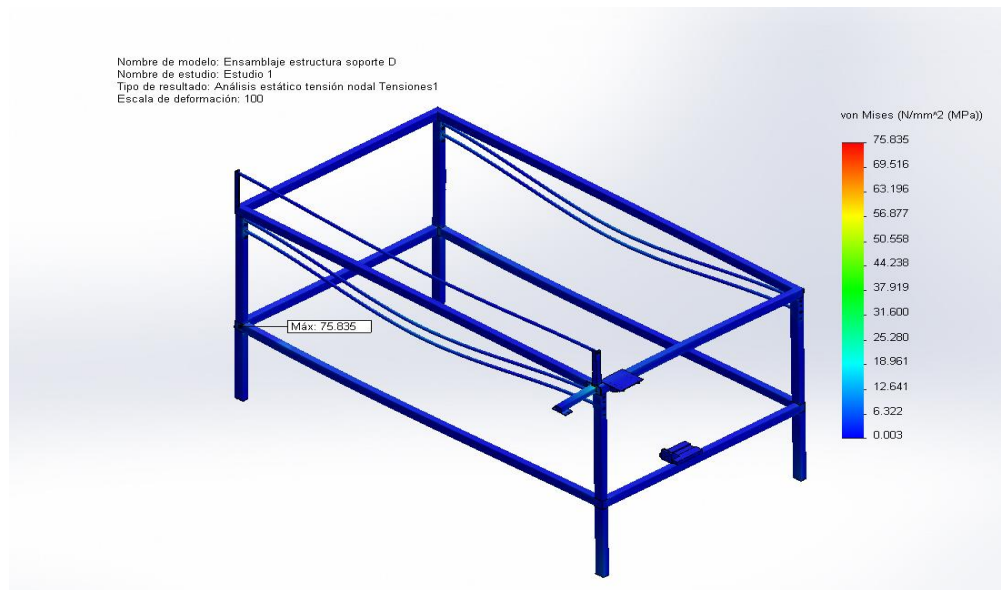
### 3.8. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA BASE.

Esta estructura soporta todos los elementos tanto mecánicos como neumáticos del banco de pruebas, por lo que debe soportar tanto los pesos como las cargas que produce cada uno.

La estructura base será fabricada con tubo cuadrado estructural de acero ASTM A36, por lo que, una vez modelada se procede a realizar su análisis de esfuerzos en el programa SolidWorks Simulation.

#### 3.8.1. INFORME DE SOLIDWORKS.

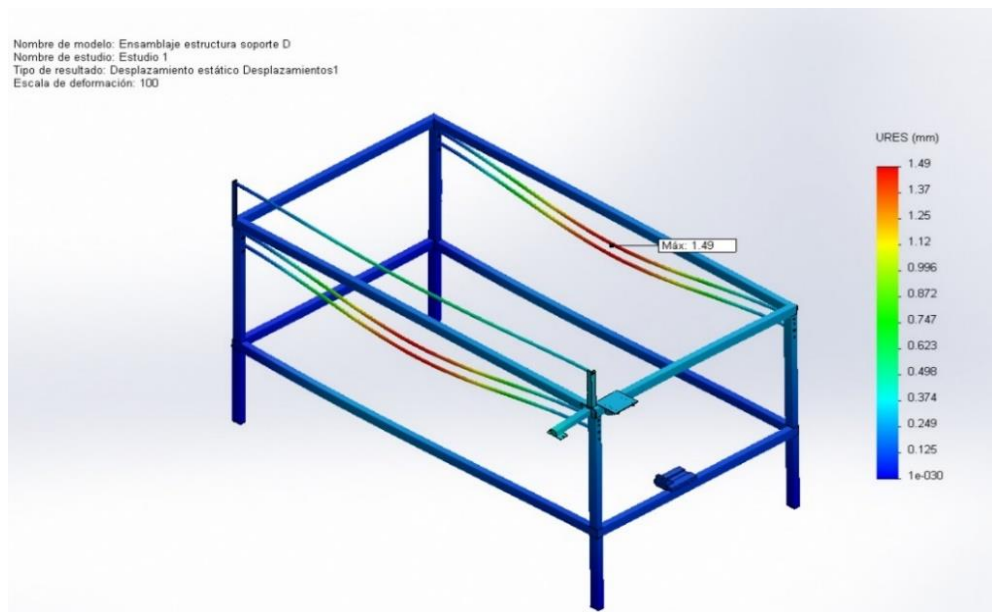
En la figura 3.41 se tiene una tensión de 75.83 MPa, este parámetro está dentro de las tensiones que pueden soportar el material que es de 250 MPa, por lo tanto el diseño es seguro para su ejecución.



**Figura 3.41.: Tensión de Von Mises de la estructura.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

El desplazamiento al que va a estar sometido es de 1.49 mm, por lo que es mínimo y no afecta al sistema (Ver figura 3.42).

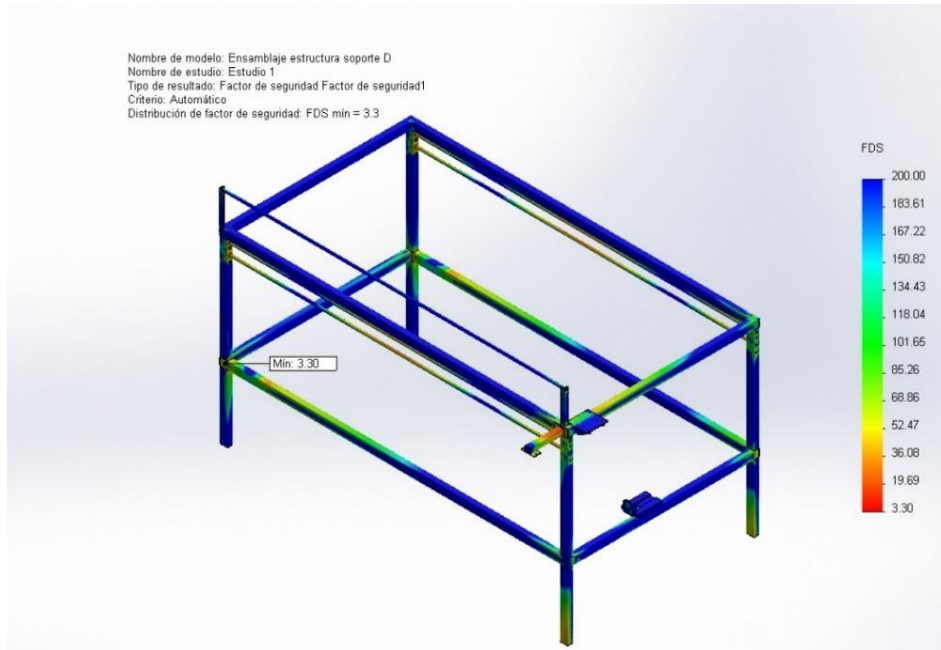


**Figura 3.42.: Desplazamiento resultante de la estructura.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)



En la figura 3.43 se tiene un factor de seguridad de 3.30 por lo que este parámetro está dentro de lo estimado en el diseño.



**Figura 3.43.: Factor de diseño de la estructura.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

### 3.9. DISEÑO NEUMÁTICO.

#### 3.9.1. DISEÑO DEL SISTEMA DE ACCIONAMIENTO NEUMÁTICO.

El movimiento vertical de la cremallera será generado por la carrera del émbolo de un cilindro neumático que será alimentado por el sistema de aire comprimido utilizado para el pintado de las puertas, el mismo que entrega aire comprimido a una presión máxima de 6,9 Bar.

El diámetro requerido en el émbolo del cilindro neumático ( $\varnothing_{emb}$ ) viene dado por:

*Ec.3.46.*(Teja, 1998, pág. 730)

$$p = \frac{F_{t1}}{A_{emb}} = \frac{4 \cdot F_{t1}}{\pi \cdot \Phi_{pist}^2}$$

Dónde:

*Ec.3.47.*

$$\Phi_{emb} = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{t1}}{\pi \cdot p}}$$

$$\Phi_{emb} = \sqrt{\frac{4 \cdot 502.8}{\pi \cdot 690 \cdot 10^3}}$$

$$\Phi_{emb} = 0.031 \text{ m} = 31 \text{ mm}$$

En base al diámetro calculado y la longitud de la cremallera se selecciona del catálogo FESTO el cilindro neumático tipo básico DNC-32-100-P, que funciona en un rango de presiones de 0.6 a 12 bar, un diámetro de émbolo de 32 mm y 100 mm de carrera (Ver anexo F-1 y F-2).

El caudal de aire ( $Q$ ) requerido para lograr una velocidad de giro del brazo de sujeción de  $45^\circ$  en un segundo ( $\frac{\pi}{4} \text{ rad/s}$ ) es:

*Ec.3.48.* (Teja, 1998, pág. 230)

$$Q = V \cdot A = \omega \cdot \frac{D_{p1}}{2} \cdot \frac{\pi \cdot \Phi_{emb}^2}{4}$$

$$Q = \omega \cdot \frac{D_{p1}}{2} \cdot \frac{\pi \cdot \Phi_{emb}^2}{4}$$

$$Q = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{36 \text{ mm}}{2} \cdot \frac{\pi \cdot 32^2 \text{ mm}^2}{4}$$

$$Q = 11369.8 \text{ mm}^3/\text{s} = 0.68 \frac{\text{lt}}{\text{s}}$$

### 3.9.2. MODELADO Y SIMULACIÓN DEL CIRCUITO NEUMÁTICO.

Para poder modelar el circuito neumático utilizaremos el programa FLUIDSIM NEUMÁTICA que se describe a continuación sus propiedades y sus símbolos

#### a. FLUIDSIM NEUMATICA. (Festo FluidSIM, 3.6)

FluidSIM Neumática es un software de simulación para la obtención de los conocimientos básicos de neumática y funciona en el entorno Microsoft Windows. Puede utilizarse en combinación con el hardware de entrenamiento FestoDidactic KG, pero también de manera independiente. FluidSIM se desarrolló en colaboración con la Universidad de Paderborn, la empresa FestoDidactic KG y Art Systems, Paderborn.

Una característica importante de FluidSIM es su estrecha relación con la función y simulación CAD. FluidSIM permite, por una parte, crear el esquema del circuito de un fluido según DIN; por otra parte, posibilita la ejecución sobre la base de descripciones de componentes físicos de una simulación plenamente explicativa.

La función CAD de FluidSIM está especialmente ideada para el campo de la técnica de fluidos. Puede, por ejemplo, comprobar mientras se diseña, si ciertas conexiones entre componentes son realmente posibles.

#### b. CIRCUITO NEUMÁTICO.

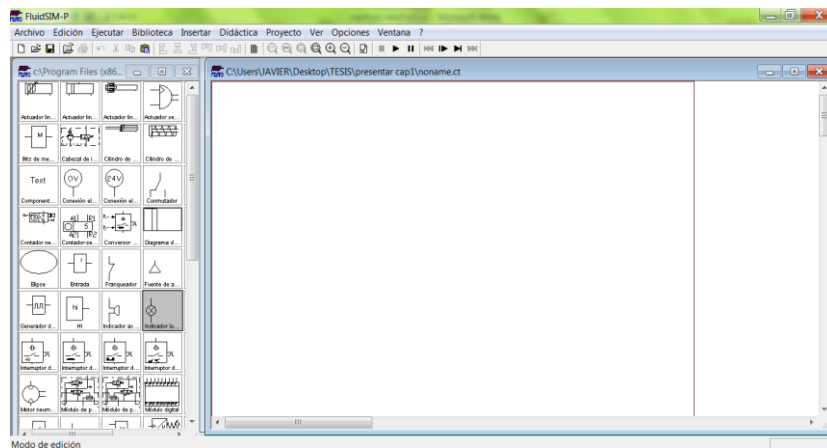
Para diseñar el circuito neumático con la secuencia A+B+A-B- se utilizará los siguientes elementos que a continuación se detalla:

- Electroválvula 5/2 accionada mediante bobina
- Un compresor.

- Pistones neumáticos de doble efecto marca Festo.
- Una unidad de mantenimiento.

Se procederá a diseñar el circuito neumático.

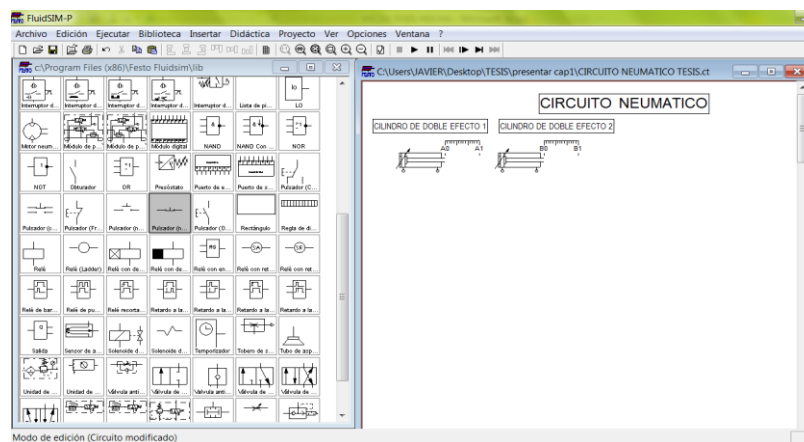
1. Abrir el programa Festo FluidSIM. Ver figura 3.44.



**Figura 3.44.: Inicio del Software Festo FluidSIM.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

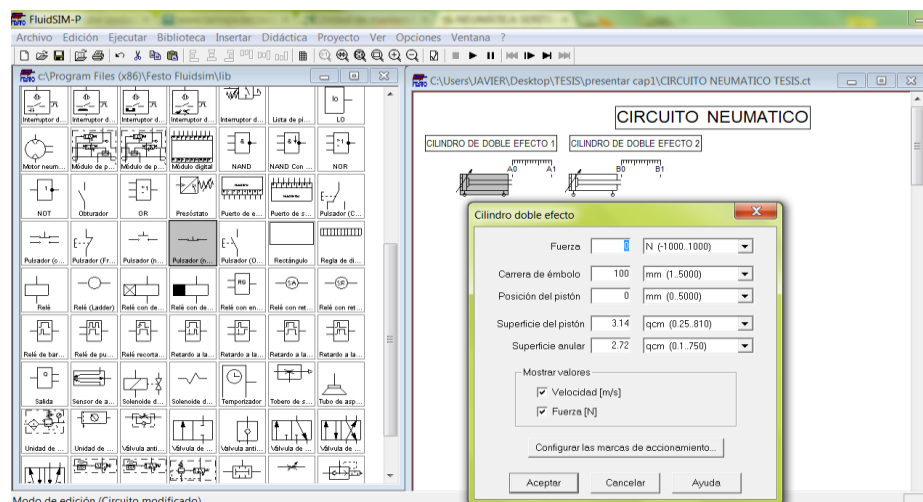
2. En la pantalla de elementos se seleccionará dos cilindros de doble efecto para la simulación del mismo. Ver figura 3.45.



**Figura 3.45.: Selección de cilindros de doble efecto.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

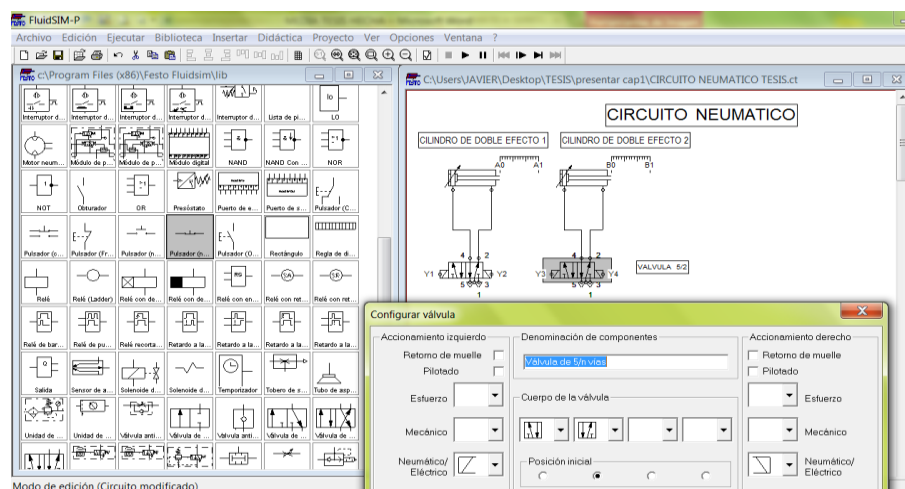
3. Dar un click derecho en propiedades, seleccionar las opciones deseadas que tiene el cilindro neumático y dar un clic en aceptar. Ver figura 3.46.



**Figura 3.46.: Propiedades de los cilindros de doble efecto.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

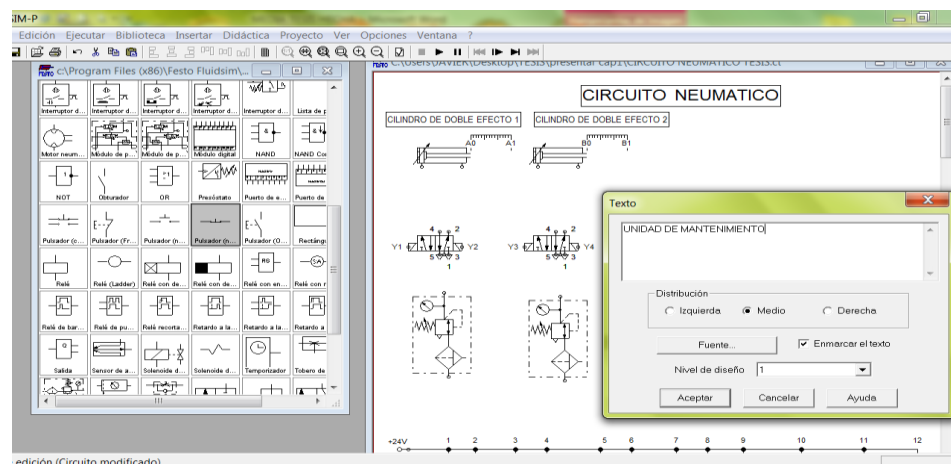
4. Seleccionar dos electroválvulas tipo 5/2, dar un click derecho e ir a propiedades, escoger las opciones que se desea que tenga la electroválvula y dar un clic en aceptar. Ver figura 3.47.



**Figura 3.47.: Electroválvulas 5/2 y sus propiedades.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

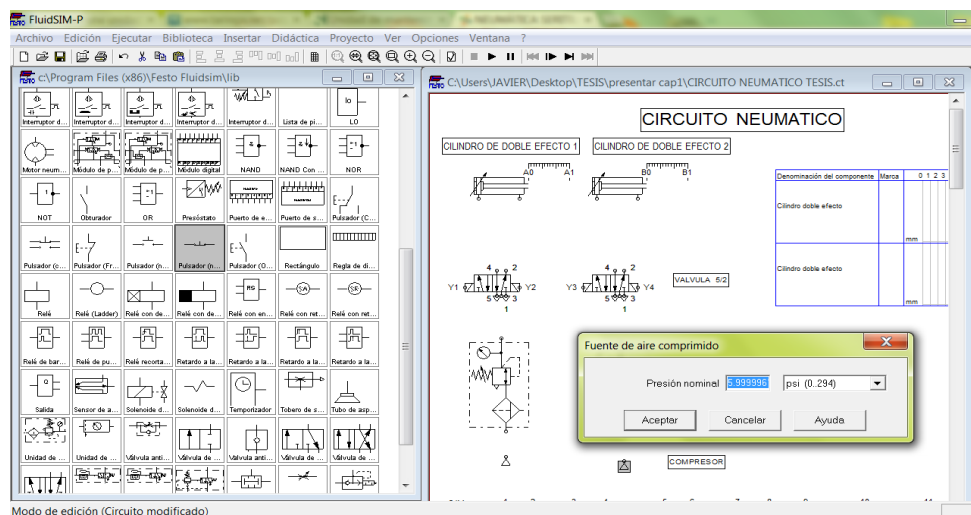
5. Seleccionar una unidad de mantenimiento que tiene como objetivo detener las impurezas que arrastra el aire comprimido (polvo, polen, restos de pequeñas oxidaciones, etc.). Ver figura 3.48.



**Figura 3.48.: Unidad de mantenimiento y sus propiedades.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

6. Seleccionar un compresor y la presión para el funcionamiento del circuito neumático que en este caso es de 6.9 Bar. Ver figura 3.49.



**Figura 3.49.: Compresor y sus propiedades.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

7. Unir por medio de vías los puntos de conexión de todos los elementos planteados. Ver figura 3.50.

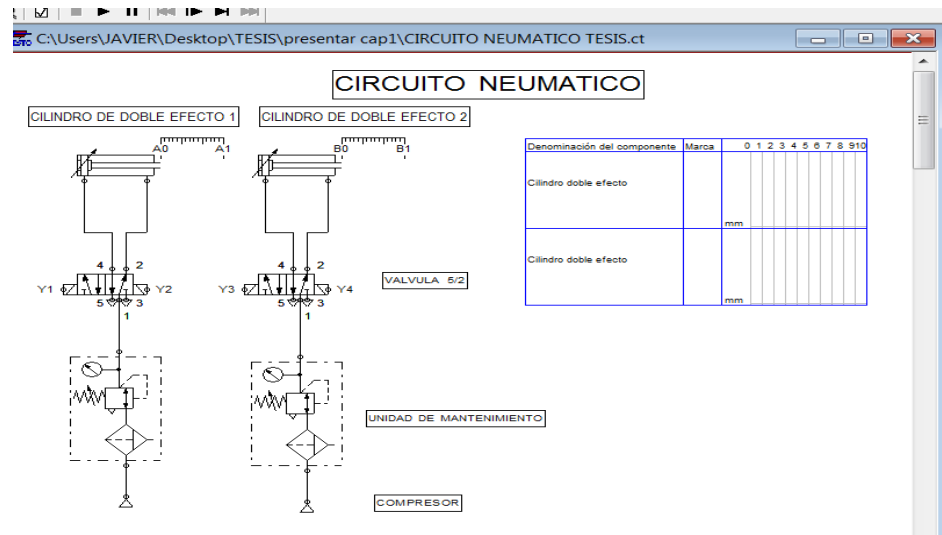


Figura 3.50.: Diseño Neumático en Festo FluidSIM.

Fuente: (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

8. Dar click en simulación del circuito neumático. Ver figura 3.51.

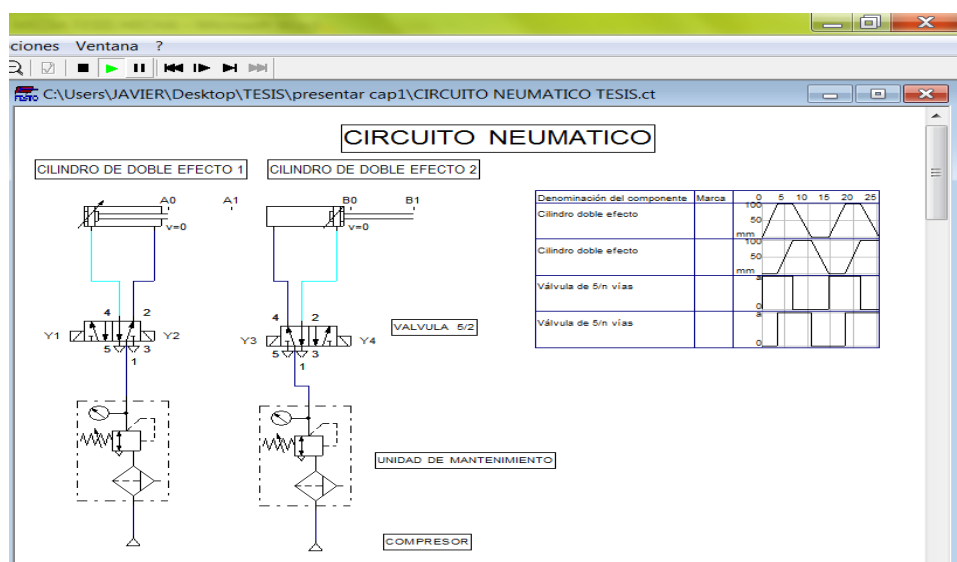
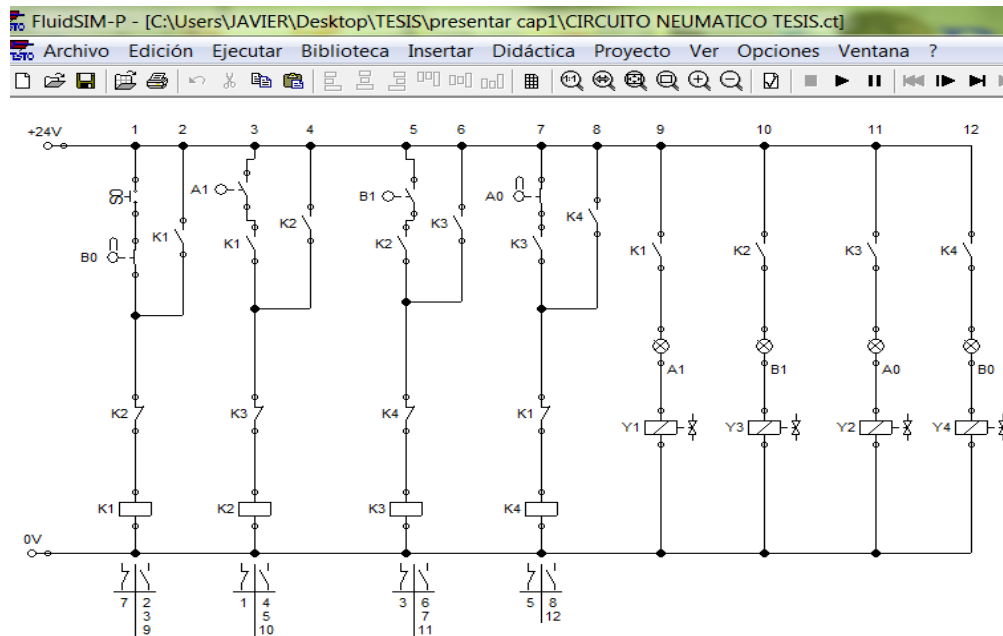


Figura 3.51.: Simulación del proyecto.

Fuente: (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

9. Construir el circuito eléctrico para el funcionamiento y simulación del proyecto. Ver figura 3.52.



**Figura 3.52.: Diseño eléctrico.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

### 3.10. DISEÑO TÉRMICO DE LA CABINA DE PINTURA.

La cabina de pintura es un componente fundamental del proyecto no solo porque es la encargada de proporcionar un ambiente idóneo para el pintado de las puertas sino también desde el punto de vista medio ambiental, ya que se retienen la mayoría de partículas de pintura y compuestos orgánicos volátiles (COV's).

#### 3.10.1. PARÁMETROS DE DISEÑO.

Para que el proyecto pueda proporcionar todas las ventajas de calidad, funcionalidad y seguridad requeridas, es necesario que la cabina de pintura y secado cumpla con los siguientes parámetros de diseño.



**Dimensiones.** Debido a que todo el sistema automático de pintado de puertas debe caber en el interior de la cabina, es necesario que la misma tenga las siguientes dimensiones principales:

- Largo = 3.45 m
- Ancho = 2.40 m
- Altura = 2.50 m

**Tipo de cabina.** Debido a las ventajas que presentan las cabinas de flujo vertical, la cabina será de este tipo, por la que la corriente de aire bajará desde el techo hacia el suelo en sentido vertical.

**Flujo de aire.** Según la norma NFPA-33 (Standard for Spray Application using Flammable or Combustible Materials) el caudal del aire que entra a la cabina debe ser lo suficiente para garantizar por lo menos 60 renovaciones completas de aire por hora (Ver anexo M-5).

**Velocidad de aire.** Con el objeto de evacuar de forma adecuada las partículas de pintura, se recomienda que el aire en el interior de la cabina circule con velocidades medias de 0.2 a 0.4 m/s (Faires, 1982).

**Temperatura.** Durante la fase de pintado y secado la cabina debe mantenerse a una temperatura cercana a los 30°C (303°K).

**Parámetros ambientales.** Antes de proceder con el diseño térmico de la cabina de pintura y secado, es necesario indicar los parámetros atmosféricos de la ciudad de Latacunga que influyen directamente en el diseño:

- Temperatura promedio del aire ambiente = 12°C = 285°K
- Altitud promedio de la ciudad de Latacunga = 2750 m
- Presión atmosférica en Latacunga = 543 mm Hg = 72.4 kPa

### 3.10.2. CÁLCULO DEL CAUDAL Y FLUJO MÁSSICO DE AIRE NECESARIO.

El caudal de aire ( $Q$ ) que debe suministrar el ventilador se determina en función del volumen interior de la cabina y el número de renovaciones de aire por hora recomendado.

El volumen interior ( $V$ ) de la cabina es:

$$V = 3.45 \cdot 2.40 \cdot 2.50$$

$$V = 20.70 \text{ m}^3$$

El caudal de aire ( $\dot{V}$ ) requerido viene dado por (Ver anexo M-5.):

*Ec.3.49.*

$$\dot{V} = V * \#_{\text{renovaciones}}$$

$$\dot{V} = 20.70 \frac{\text{m}^3}{\text{renov}} * 60 \frac{\text{renov}}{\text{hora}}$$

$$\dot{V} = 1242 \text{ m}^3/\text{hora}$$

$$\dot{V} = 0.345 \text{ m}^3/\text{s} = 731.0 \text{ cfm}$$

Para poder calcular el flujo mássico del aire, es necesario determinar primero la densidad promedio ( $\rho$ ) que tiene el aire ambiente en la ciudad de Latacunga a partir de la siguiente ecuación:

*Ec.3.50.* (Faires, 1982, pág. 23)

$$\rho = \frac{p}{R \cdot T}$$

Dónde:

$$p = \text{Presión atmosférica} = 72400 \text{ Pa}$$

$$R = \text{Constante de los gases} = 287 \text{ Nm/kg}^\circ\text{K}$$

$$T = \text{Temperatura ambiente} = 12^\circ\text{C} = 285 \text{ K}$$

Reemplazando los valores se obtiene:

$$\rho = \frac{72400 \frac{N}{m^2}}{287 \frac{Nm}{kg^\circ K} * 285^\circ K}$$

$$\rho = 0.885 \text{ kg/m}^3$$

Por lo tanto, el flujo másico de aire ( $\dot{m}$ ) requerido en la cabina de pintura es (Ver anexo M-6):

$$\dot{m} = \rho \cdot \dot{V} \quad \text{Ec.3.51.}$$

$$\dot{m} = 0.885 \text{ kg/m}^3 \cdot 0.345 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\dot{m} = 0.305 \text{ kg/s}$$

### 3.10.3. PÉRDIDAS DE PRESIÓN POR FRICCIÓN.

Para poder determinar la capacidad del ventilador es necesario calcular primero las pérdidas de presión debidas a la fricción del aire con las paredes de la cabina.

Para calcular la pérdida por fricción se utiliza el nomograma del Anexo M-6 que corresponden a pérdidas por fricción en secciones rectangulares con aire en condiciones normales.

Para un caudal de aire de 1242 m<sup>3</sup>/h la pérdida de presión total es:

$$H_L = 1.7 \text{ mm cda}$$

Por lo tanto, el ventilador seleccionado debe entregar una presión estática mayor a 1.7 mm cda.

#### **3.10.4. SELECCIÓN DEL VENTILADOR.**

Debido a que el aire en el interior de la cabina debe recircular continuamente, el ventilador seleccionado debe hacer la función tanto de impulsor como de extractor de aire.

El ventilador se selecciona del catálogo de Soler & Palau a partir de los siguientes datos:

- Caudal requerido = 1242 m<sup>3</sup>/h = 12,42 x 100 m<sup>3</sup>/h
- Presión estática > 1.7 mm cda
- Velocidad de motor = 1800 rpm

Del catálogo Soler & Palau (Ver anexo M-7) se selecciona un ventilador de la serie **SA9/4**, el mismo que está fabricado en lámina galvanizada resistente a la corrosión y lleva acoplado un motor eléctrico de 0.4 kW de potencia que gira a 1800 rpm.

#### **3.10.5. CÁLCULO DE LOS REQUERIMIENTOS DE CALOR DE LA CABINA.**

La masa total de aire ( $m$ ) en el interior de la cabina es:

$$m = \rho * V$$

*Ec.3.52.* (Faires, 1982, pág. 575)

Dónde:

$\forall =$  volumen de aire en el interior de la cabina (es igual al volumen interior de la cabina) =  $20.70 \text{ m}^3$

Reemplazando los datos se tiene:

$$m = 0.885 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 20.70 \text{ m}^3$$

$$m = 18.32 \text{ kg}$$

Por lo tanto, la cantidad de calor ( $q_{req}$ ) que se requiere para calentar la masa total de aire de la cabina, desde la temperatura ambiente hasta los  $30^\circ\text{C}$  viene dado por:

$$q_{req} = m * c_p * \Delta T \quad \text{Ec.3.53. (Faires, 1982, pág. 49)}$$

Dónde:

$c_p =$  Calor específico del aire =  $1004.7 \text{ J/kg } ^\circ\text{K}$ .

$\Delta T =$  Diferencia de temperatura  $^\circ\text{K}$ .

$m =$  Masa total del aire.

Reemplazando los valores se obtiene:

$$q_{req} = 18.32 \text{ kg} * 1004.7 \frac{\text{J}}{\text{kg } ^\circ\text{K}} * (303 - 285)^\circ\text{K}$$

$$q_{req} = 3313 \cdot 10^3 \text{ J}$$

Tomando en cuenta que se requiere que la cabina alcance la temperatura de  $30^\circ\text{C}$  en un tiempo no mayor a 15 minutos, el flujo de calor requerido ( $\dot{Q}_{req}$ ) para el calentamiento inicial de la cabina es:

Ec.3.54.

$$\dot{Q}_{req} = \frac{q_{req}}{\text{tiempo}}$$

$$\dot{Q}_{req} = \frac{3313 \cdot 10^3 J}{15 \text{ min}} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}}$$

$$\dot{Q}_{req} = 368.1 \text{ W} = 0.368 \text{ kW}$$

### 3.10.6. CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS DE CALOR.

Para reducir las pérdidas de calor en la cabina, sus paredes serán construidas con paneles prefabricados de tabla triplex de 2 cm de espesor.

Las pérdidas de calor en la cabina se producen por conducción, por convección y por radiación.

Las pérdidas de calor por conducción ( $Q_{Lc}$ ) se producen a través de las paredes de la cabina y se determinan a partir de la ecuación del Anexo M-8.

Ec.3.55.

$$Q_{Lc} = \frac{k * A * \Delta T * t_e}{3.412 * L}$$

Dónde:

$k$  = Coeficiente de conductividad térmica de la tabla triplex =  
 $0.1 \text{ W/m } ^\circ\text{C} = 0.70 \text{ Btu in/hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$

$A$  = Área total de transferencia de calor

$A = (2(3.45 * 2.5) + 2(2.4 * 2.5) + (3.45 * 2.4)) \text{ m} = 37.53 \text{ m}^2 = 404.0 \text{ ft}^2$

$\Delta T$  = Diferencia de temperatura =  $T_{int} - T_{ext}$

$T_{int}$  = Temperatura interior del horno =  $30^\circ\text{C} = 86.0^\circ\text{F}$

$T_{ext}$  = Temperatura exterior del horno =  $12^\circ\text{C} = 53.6^\circ\text{F}$

$t_e$  = Tiempo promedio de pintado y secado de una puerta = 15 minutos.

$L$  = Espesor de la tabla tiplex = 20 mm = 0.75 plg

Reemplazando los valores se obtiene:

$$Q_{Lc} = \frac{0.70 \text{ Btu in/hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F} * 404.0 \text{ ft}^2 * (86 - 53.6)^\circ\text{F} * 0.25 \text{ hr}}{\frac{3.412 \text{ Btu}}{1 \text{ Whr}} * 0.75 \text{ plg}}$$

$$Q_{Lc} = 895 \text{ W} = 0.895 \text{ kW}$$

Las pérdidas de calor por convección y radiación ( $Q_{Lcr}$ ) se producen como resultado del movimiento del fluido y por la emisividad del sólido. Para la cabina estas pérdidas pueden ser determinadas a partir de la ecuación del Anexo M-8.

$$Q_{Lcr} = A * F_{SL} \quad \text{Ec.3.56.}$$

Dónde:

$A$  = Área total de transferencia de calor =  $37.53 \text{ m}^2 = 58.172 \cdot 10^3 \text{ plg}^2$

$F_{SL}$  = Factor de pérdida combinada de convección y radiación (Anexo M-9) =  $0.005 \text{ W/plg}^2$  (para una temperatura de la superficie aislada de  $86^\circ\text{F}$ )

Reemplazando los valores se obtiene:

$$Q_{Lcr} = 58.172 \cdot 10^3 \text{ plg}^2 * 0.005 \text{ W/plg}^2$$

$$Q_{Lcr} = 290.86 \text{ W} = 0.29 \text{ kW}$$

La pérdida de calor total ( $Q_L$ ) es igual a la suma de las pérdidas de calor por convección más las pérdidas combinadas por convección y radiación.

$$Q_L = Q_{Lc} + Q_{Lcr} \quad \text{Ec.3.57.}$$

$$Q_L = (0.895 + 0.29) \text{ kW}$$

$$Q_L = 1.185 \text{ kW}$$

### 3.10.7. CÁLCULO DE LA POTENCIA DE CALENTAMIENTO.

La potencia total ( $Pot$ ) requerida para mantener la cabina a 30°C durante una hora se obtiene sumando calor requerido para el calentamiento inicial de la cabina más las pérdidas de calor.

$$Pot = \dot{Q}_{req} + Q_L \quad \text{Ec.3.58.}$$

$$Pot = (0.368 + 1.185) \text{ kW}$$

$$Pot = 1.553 \text{ kW.}$$



## **CAPÍTULO IV.**

### **4. DISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO DE LA CABINA.**

Para el diseño de control eléctrico y electrónico se tiene en cuenta las condiciones exigidas por el personal que va a operar el sistema.

Este sistema debe ser de fácil operación, garantizar un ambiente de trabajo seguro y confiable al operador para que este se familiarice rápidamente con la máquina.

#### **4.1. CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE LA CABINA.**

Para el diseño eléctrico se debe tomar en cuenta las siguientes condiciones de funcionamiento:

- La tensión general de alimentación del sistema será de 220 VAC y 110 VAC.
- La tensión de alimentación de los componentes electrónicos como el PLC-HMI será de 24 VDC, variador de frecuencia será de 220 VAC, PID de temperatura será de 110 VAC.
- El sistema será totalmente automático.
- El control de la pistola de pintura y giro de la puerta será neumático.
- El control de movimiento de la pistola será controlado por un motor de movimiento transversal (Motor DC) y un longitudinal (Motor AC) controlado por un variador de frecuencia.

- Los cambios de giro de los motores serán controlados por micro - switch.
- La alimentación de pintura a la pistola será por gravedad.
- La temperatura promedio interna de la cabina será de 25°C a 30°C, suministrada por un calefactor eléctrico.
- Se necesita de un encendido total general.
- Para apagar el sistema se podrá hacerlo de una forma total o parcial, se hará por medio del circuito de mando.
- El motor será controlado por medio de un contactor, protegido con un relé térmico y un breaker para brindar una protección contra cortocircuitos y sobre intensidad.
- Se debe tener un control continuo de la presión de aire de 6.9 Bar del sistema para garantizar el correcto funcionamiento.

Para cumplir con todas estas condiciones exigidas anteriormente para un perfecto funcionamiento del sistema se tomará las siguientes acciones que se detallan a continuación:

- La máquina se instalará en el sitio con una alimentación de 220 VAC más el neutro del cual se alimentará el variador que alimentara al motor AC, así como también el circuito de control de todo el sistema.
- El variador de frecuencia a utilizar tendrá una tensión de entrada bifásica a 220 VAC con la salida trifásica.
- El motor de AC será un motor trifásico controlado por el variador, para tener un mejor control de la velocidad y frenado a lo largo del desplazamiento longitudinal.
- El motor de DC, es para el desplazamiento transversal por ciclos de la pistola.

- Mediante un selector se podrá encender toda la máquina, pero no se podrá empezar el ciclo de pintado si no se digita con la tecla del panel, el operador podrá comenzar a poner en marcha la máquina.
- El tablero de control tendrá un solo pulsante (Paro total general de tipo hongo o paro de emergencia N.C), ya que el control general de la máquina se lo realizará mediante las teclas del PLC-HMI.
- En la pantalla HMI se podrá visualizar el funcionamiento de la máquina y las alarmas, sin la necesidad de tener luces pilotos externas.
- En el tablero de control habrá protección térmica y fusibles de corte rápido para la protección de todos los dispositivos eléctricos y electrónicos.

#### **4.2. SELECCIÓN DE SELECTORES, PULSADORES Y FUSIBLES.**

Existen varios fabricantes de elementos actuadores e indicadores los cuales realizan maniobras de activado y desactivado en un proceso de control que se detalla a continuación:

##### **4.2.1. SELECCIÓN DEL SELECTOR.**

Se utilizará para la selección entre la operación de encendido y apagado de la máquina un Selector de dos posiciones con dos contactos NA - NC marca CAMSCO (Ver figura 4.1), sus características se muestran en la tabla 4.1 y en el Anexo G-1.

**Tabla 4.1.: Características del selector.**

<b>SELECTOR</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
Marca	CAMSCO
Nº de posiciones	2 posiciones

**Fuente:** (Catálogo Camsco, 2013)



**Figura 4.1.: Selectores de dos posiciones.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

#### 4.2.2. PULSADOR TIPO HONGO.

En un caso emergente se utilizará un interruptor pulsar - tirar con contacto con retención CAMSCO (Ver figura 4.2), la misma desconectará todo el circuito de mando y control, sus características se muestran en la tabla 4.2 y en el Anexo G-2.

**Tabla 4.2.: Características del interruptor de emergencia.**

INTERRUPTOR	CARACTERÍSTICAS
Marca	CAMSCO
Tipo	Pulsar-Tirar con contacto con retención

**Fuente:** (Catálogo Camasco, 2013)



**Figura 4.2.: Interruptor tipo hongo.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

### 4.3. SELECCIÓN DE RELÉS AUXILIARES, FINALES DE CARRERA Y FUENTES DE DC.

#### 4.3.1. SELECCIÓN DE RELÉS AUXILIARES.

Se utilizará relés auxiliares para proteger las entradas y salidas del PLC, debido a que los contactos del autómatas únicamente soportan una cierta cantidad de corriente y si esa corriente es elevada producirá el deterioro y daño en los contactos, por lo tanto se utilizará relés auxiliares marca CAMSCO (Ver anexo G-4 y Ver figura 4.3), las características se muestra en la tabla 4.3.

**Tabla 4.3.: Características del relé auxiliar.**

RELÉ AUXILIAR	CARACTERÍSTICAS
Marca	CAMSCO
Contactos	$I_{\text{máx}} = 10 \text{ A}$ $V_{\text{máx}} = 250 \text{ V}$
Bobina	$I = 32 \text{ mA}$ $V_{\text{CC}} = 24 \text{ V}$

**Fuente:** (Catálogo Camasco, 2013)



**Figura 4.3.: Relés auxiliares con base incluida.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

### 4.3.2. FINALES DE CARRERA.

Se necesita utilizar 5 finales de carrera que serán colocados en puntos estratégicos para el correcto movimiento de la máquina, por lo tanto se utilizarán finales de carrera marca CAMSCO. Ver figura 4.4 y Anexo G-5.

**Tabla 4.4.: Características del final de carrera.**

FINAL DE CARRERA	CARACTERÍSTICAS
Marca	CAMSCO
Tipo de cabeza	Palanca
Contactos	1 NA / 1NC

**Fuente:** (Catálogo Camasco, 2013)



**Figura 4.4.: Finales de carrera.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

### 4.3.3. SELECCIÓN DE LA FUENTE DE CORRIENTE CONTINUA.

Para la selección de las dos fuentes de corriente continua se tomó en cuenta dos aspectos principales que son:

1. El voltaje que se requiere para el funcionamiento del PLC y accionamiento de los relés es de 24 VDC, y la corriente total que consumirán las bobinas de todos los relés auxiliares será de 2A.

Con estos parámetros se adquirió una fuente de  $\pm 24$  VDC / 3A (Ver figura 4.5). En la tabla 4.5 se muestran las características de la fuente adquirida.

**Tabla 4.5. Características de la fuente de voltaje DC.**

FUENTE DE VOLTAJE	CARACTERÍSTICAS
Voltaje in	120 VAC
Voltaje out	24 VDC
Corriente máxima	3 A

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)



**Figura 4.5.: Fuente de corriente continua para el PLC.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

2. Para la alimentación del motor de movimiento trasversal de 12 VDC, y una corriente de 1.7 A. Con estos parámetros se adquirió una fuente de  $\pm 12$  VDC / 3A. En la tabla 4.6 se muestran las características de la fuente adquirida. Ver figura 4.6.

**Tabla 4.6.: Características de la fuente de voltaje DC.**

FUENTE DE VOLTAJE.	CARACTERÍSTICAS.
Voltaje in.	120 VAC
Voltaje out.	+12 VDC
Corriente máxima.	3 A

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)



**Figura 4.6.: Fuente de corriente continua para el motor.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

#### 4.4. RIEL DIN Y CANALETA.

El Riel Din (Ver figura 4.7.) se utilizará para la instalación de los elementos de forma distribuida en el tablero de control. La canaleta (Ver figura 4.8.) permitirá una mejor presentación del cableado dentro del tablero.



**Figura 4.7.: Riel Din.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)





**Figura 4.8.: Canaleta.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

#### 4.5. SELECCIÓN DEL CONDUCTOR ELÉCTRICO.

Se utilizarán diferentes conductores para control y potencia del circuito:

##### 4.5.1. SELECCIÓN DE CONDUCTORES PARA LOS MOTORES.

###### a. MOTOR DE MOVIMIENTO LONGITUDINAL.

Este motor va ser movido y controlado por el variador de frecuencia y se tendrá que trabajar con la potencia máxima del mismo que es de 0,4 KW, para la selección del conductor como la potencia del variador es monofásico a 220 VAC se ocupará la siguiente ecuación.

*Ec.4.1.* (Harper, pág. 150).

$$I = \frac{P}{n * \sqrt{2} * V * f_p}$$

Dónde:

- $I$  = Corriente
- $P$  = Potencia del motor (W)
- $n$  = Rendimiento
- $V$  = Voltaje línea-línea
- $f$  = Factor de potencia

$$I = \frac{0.4 \times 1000}{0.8 \times \sqrt{2} \times 220 \times 0.82}$$

$$I = 1.96 \text{ A}$$

Para el cálculo de la intensidad de sobre carga, el proveedor recomienda, un dimensionamiento del 125 % de la carga a proteger.

$$I = 1.96 \times 1.25$$

$$I = 2.45 \text{ A}$$

En consecuencia el conductor será 3 x # 14 THHN AWG FLEXIBLE, la razón de un sobre dimensionamiento es por razones de seguridad mecánica del conductor, ya que este va estar expuesto fuera del tablero, de igual manera para la conexión en la parte interna del tablero. Las características del conductor se muestran en el Anexo H-1.

#### **b. MOTOR DE MOVIMIENTO TRANSVERSAL.**

Como este motor es de VDC se aplicara la siguiente ecuación:

*EC.4.2.* (Harper, pág. 25).

$$I = \frac{V}{R}$$

Dónde:

$I =$  Corriente

$V =$  Voltaje de la fuente DC

$R =$  Resistencia interna del motor.

$$I = \frac{12}{7.03}$$

$$I = 1.7 \text{ A}$$

Intensidad de sobre carga:

$$I = 1.7 \times 1.25$$

$$I = 2.13 \text{ A}$$

En consecuencia el conductor será 2 x # 14 THHN AWG FLEXIBLE dentro y fuera del tablero, de la misma manera la razón de un sobre dimensionamiento es por razones de seguridad mecánica del conductor. Ver anexo H-2.

#### 4.5.2. SELECCIÓN DE CONDUCTORES PARA CALEFACTOR

Para esta selección se trabajará con una potencia de 1000 W, con un rendimiento y factor de potencia de 1, esto debido a que la carga a conectar es puramente resistiva, la fórmula a utilizar es de potencia monofásica:

*Ec.4.3.* (Harper, pág. 150).

$$I = \frac{P}{n * V * f_p}$$

Dónde:

- $I =$  Corriente
- $P =$  Potencia (W)
- $n =$  Rendimiento
- $V =$  Voltaje línea-neutro
- $f =$  Factor de potencia

$$I = \frac{1000}{1 \times 120 \times 1} = 8.33 \text{ A}$$

Intensidad de sobre carga:

$$I = 8.333 \times 1.25$$

$$I = 10.41 \text{ A}$$

Para este caso el conductor será de un calibre 2 x # 10 THHN AWG FLEXIBLE, aquí se sobre dimensiona por razones de posibles incremento de potencia del calefactor a futuro. Las características del conductor se muestran en el Anexo H-2.

**Nota:**

Para el compresor no se realizó ningún cálculo porque no está conectado a nuestro sistema, solo se utilizará la toma de aire existente en la empresa.

#### **4.5.3. SELECCIÓN DE CONDUCTORES PARA LA LUMINARIA.**

Las luminarias a utilizar en la cabina son dos lámparas fluorescentes de 2 x 32 W, con una potencia total de 64 W, para esto se utilizará la ecuación *Ec.4.3* de sistema monofásico, para este caso nuestro factor de potencia final será de 0,85.

$$I = \frac{64}{0.9 \times 120 \times 0.85}$$

$$I = 0.69 \text{ A}$$

Intensidad de sobre carga:

$$I = 0.69 \times 1.25$$

$$I = 0.87 \text{ A}$$

Para las conexiones de iluminación se utilizará un conductor # 14 THHN AWG SÓLIDO, estas conexiones se realizarán con tubería EMT. Las características del conductor se muestran en el Anexo H-2.

#### **4.5.4. SELECCIÓN DE CONDUCTORES PARA LOS DISPOSITIVOS DE CONTROL.**

##### **a. RELÉS.**

El consumo en la bobina de cada mini relé de marca CAMSCO a 24 VDC es de 0.08 A entonces:

$$I = \# \text{ bobina} \times 0.08$$

$$I = 4 \times 0.08$$

$$I = 0.32 \text{ A}$$

##### **b. ELECTROVÁLVULAS.**

El consumo en la bobina de cada electroválvula a 24 VDC es de 0.16 A Entonces:

$$I = \# \text{ bobina} \times 0.16$$

$$I = 4 \times 0.16$$

$$I = 0.64 \text{ A}$$

##### **c. PLC.**

El consumo de corriente según catálogo es de 500 mA. Debido a que las corrientes en este sistema son demasiadas pequeñas y por razones de resistencia mecánica se escogerá un # 18 TFN AWG FLEXIBLE. Las características del conductor se muestran en el Anexo H1.

**Nota:**

Debido a que las corrientes son muy pequeñas no es necesaria la intensidad de sobrecarga, la diferencia no sería mucha para la selección del conductor.

**d. ALIMENTADOR GENERAL.**

Para la selección de este conductor se tendrá que sumar todas las corrientes que van a circular en el sistema.

*Ec.4.4* (Harper, pág. 208).

$$I = 1.25 * I_{carga\ mayor} + \sum I_{cargas\ y\ motores} + \sum I_{cargas\ menores}$$

$$I = 1.25 \times 10.41 + 10.41 + 2.13 + 2.43 + 0.87 + 1.46$$

$$I = 30.31 A$$

En consecuencia el calibre será un 4 x 10 THHN AWG FLEXIBLE que es el más aproximado para soportar dicha corriente. Las características del conductor se muestran en el Anexo H-2.

**4.5.5. DIMENSIONAMIENTO DE LAS PROTECCIONES.****a. SELECCIÓN DE LA PROTECCIÓN PRINCIPAL.**

Según el cálculo del alimentador general  $I = 31.07 A$  se tiene que la protección será un breaker de 2 polos, con características técnicas de acuerdo a la tabla 4.7.

**Tabla 4.7.: Características breaker para protección principal.**

<b>BREAKER</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
Marca	SCHNEIDER
Capacidad de corriente	32 A
Voltaje de trabajo	240VAC.

**Fuente:** (Catálogo Schneider, 2013)

## **b. PROTECCIÓN DE LAS DERIVACIONES.**

### **b.1. CALEFACTOR.**

Según la corriente calculada  $I = 10.41 A$  el valor de protección del breaker será de 16 A, según las características de la tabla 4.8.

**Tabla 4.8.: Características breaker para el calefactor.**

<b>BREAKER</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
Marca	SCHNEIDER
Capacidad de corriente	16 A
Voltaje de trabajo	240 VAC

**Fuente:** (Catálogo Schneider, 2013)

### **b.2. MOTORES.**

Para la protección de estos motores no se utilizarán breakers por las siguientes razones:

1. Las corrientes de consumo son demasiado bajas.

2. El tiempo de respuesta contra sobrecargas o cortocircuitos debe ser lo más pequeña posible y el breaker no puede proporcionar esos tiempos debido a su curva de funcionamiento.
3. El variador protege de sobrecargas (sobre torque) al motor, entonces este solo requiere ser protegido contra cortocircuitos.

Entonces la protección se lo hará por medio de fusibles cerámicos rápidos tipo L de 6 A. Ver tabla 4.9.

**Tabla 4.9.: Características breaker para el motor.**

<b>BREAKER</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
Marca	SCHNEIDER
Capacidad de corriente	8 A
Voltaje de trabajo	240 VAC

**Fuente:** (Catálogo Schneider, 2013)

### **b.3. RELÉS Y ELECTROVÁLVULAS.**

Se ocupará una protección con fusible rápido tipo L, la capacidad será de 2.5 A, 250 VDC, sobredimensionando el cálculo obtenido anteriormente. La selección se muestra en el Anexo G-4. Ver figura 4.9.

**Tabla 4.10.: Características del relé auxiliar.**

<b>RELÉ AUXILIAR.</b>	<b>CARACTERÍSTICAS.</b>
Marca.	CAMSCO
Contactos.	$V_{\text{máx}} = 250 \text{ VAC.}$
Bobina.	$I = 32 \text{ mA.}$

**Fuente:** (Catálogo Camasco, 2013)





**Figura 4.9.: Relés auxiliares con base incluida.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

#### **b.4. PLC.**

El tiempo de respuesta debe de ser muy rápida, debido a que la corriente que consume el PLC es de solo 500 mA, entonces el fusible será 1A, 250 VAC. Ver figura 4.10.



**Figura 4.10.: Fusible para el Plc - Renu FP4030.**

**Fuente:** (Catálogo Schneider, 2013)

#### **b.5. SIMULACIÓN DEL CIRCUITO DE POTENCIA.**

Con el software CADe\_SIMU y sus librerías, se puede utilizar y colocar los diferentes tipos de protecciones que necesita un motor Bifásico y un motor de DC y demás accesorios necesarios para realizar el arranque de los mismos que se encuentran simulados en el anexo I-1,I-2.

#### 4.5.6. SELECCIÓN DEL PLC RENU FP4030.

Dentro de los criterios para escoger el controlador adecuado para el proceso, se debe tomar en cuenta lo siguiente:

1. Indagar que la marca del controlador sea una marca reconocida y que exista en el mercado para fácil adquisición.
2. En función de la cantidad de entradas - salidas digitales y entradas-salidas análogas.
3. De acuerdo al proceso a realizar, verificar las limitaciones en cuanto a la cantidad de variable internas con que cada PLC puede operar.
4. Capacidad de comunicación con otros dispositivos.
5. Software gratuito para la fácil instalación en cualquier sistema operativo.
6. Manuales con información y manual de programación (escrito o pdf) de simple lectura y con ejemplos de ayuda.

Para esto se optó por seleccionar el **PLC RENU FP4030** que se detalla características y funcionamiento en el Anexo J-1, Ver figura 4.11.



**Figura 4.11.:** PLC- RENU FP4030

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

## CAPÍTULO V.

### 5. CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE.

Después de haber concluido el diseño y selección de todos los elementos con los que va a funcionar la máquina que son mecánica, neumática, térmica y eléctrica, se continúa con la construcción y montaje de los mismos, para ello se utilizará como base los diferentes planos proyectados, obteniendo al final un correcto funcionamiento de la cabina de pintura.

#### 5.1. CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DE LA ESTRUCTURA.

La estructura está constituido por varias vigas a soldar, que van a soportar las diferentes partes móviles de la máquina así como el respectivo peso de la puerta. Ver figura 5.1.

La estructura se construyó con vigas de acero estructural ASTM A36 que se encuentra según los planos del Anexo L-1, estas partes van hacer soldadas con electrodos 6011, el tipo de unión utilizada se detalla en el WPS. (Ver anexo K-2, K-3, K-4.)



**Figura 5.1.: Estructura de la máquina.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

## 5.2. MONTAJE DEL CILINDRO DE GIRO DE LA PUERTA.

El cilindro será sujetado con pernos  $\frac{1}{4}$  x 2 plg a la placa, al igual que el motor. Ver figura 5.2.



**Figura 5.2.: Cilindro de giro de la puerta.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

## 5.3. CONSTRUCCIÓN DE LOS CARROS LONGITUDINALES Y TRANSVERSAL.

Para la construcción de los mismos, se utilizó acero estructural ASTM A36 de 5 mm de espesor los cuales fueron medidos, cortados y soldados de acuerdo a los Anexos L-4, L-5, L-6. Ver figura 5.3.



**Figura 5.3.: Carros trasversales y longitudinal.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

#### 5.4. MONTAJE DE RODAMIENTOS LINEALES EN LOS CARROS.

Los rodamientos serán de 20 mm seleccionados de acuerdo al Anexo B-4 que posteriormente fueron calculados, estos serán montados cuatro por cada carro y sujetos por vinchas de sujeción. Ver figura 5.4.



**Figura 5.4.: Rodamientos lineales.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

#### 5.5. MONTAJE DE LOS RIELES DE SUJECIÓN DE CARROS LONGITUDINALES.

Para estos rieles se utilizarán ejes de acero AISI 4140 de 20 mm x 2500 mm y maquinados en los extremos para pernos M10 de acuerdo al Anexo L-7. Ver figura 5.5.



**Figura 5.5.: Rieles Longitudinales.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

## 5.6. MONTAJE DE LOS RIELES DE SUJECCIÓN DEL CARRO TRANSVERSAL.

Para estos rieles se utilizarán ejes de acero AISI 4140 de 20 mm x 1300 mm y maquinados en los extremos para pernos M10 de acuerdo al Anexo L-8. Ver figura 5.6.



**Figura 5.6.: Rieles Transversales.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

## 5.7. MONTAJE DE LAS CATALINAS PARA EL MOVIMIENTO LONGITUDINAL.

Las catalinas serán seleccionados de acuerdo al Anexo D-1, D-2 que posteriormente fueron calculados, estos serán montados a los rieles los mismos serán maquinados de acuerdo al Anexo L-9. Ver figura 5.7.



**Figura 5.7.: Catalinas para el movimiento longitudinal.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

Los rieles y ejes serán montados sobre chumaceras de  $\frac{1}{2}$  plg y sujetos a la estructura con pernos de  $\frac{1}{4}$  x 6 plg. Ver figura 5.8.



**Figura 5.8.: Montaje catalina - chumacera a la estructura.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

## **5.8. MONTAJE DEL HUSILLO A BOLAS.**

Este husillo será de acero inoxidable de 15 mm x 1350 mm y un paso de 5 mm previamente calculado anteriormente, este será maquinado en sus extremos para facilitar la sujeción a los carros transversales de acuerdo al Anexo L-10. Ver figura 5.9.



**Figura 5.9.: Husillo a bolas.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

El husillo será sujetado en sus extremos de los carros con rodamiento SKF 6000. Ver figura 5.10.



**Figura 5.10.: Rodamiento 6000 sobre el carro transversal.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

### **5.9. MONTAJE DE CILINDRO NEUMÁTICO DE GIRO DE LA PISTOLA.**

El cilindro será de carrera 100 mm que fue calculada anteriormente para poder girar el ángulo requerido, se escogió de acuerdo al Anexo F-2. Este será sujetado al carro transversal con perno M5, el cual estará sujetando a la cremallera. Ver figura 5.11.



**Figura 5.11.: Cilindro neumático - cremallera.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)



### 5.10. MONTAJE DE LA PISTOLA Y EL ENVASE DE PINTURA.

El envase de pintura será ubicado en la parte superior del carro transversal, este será soldado con perno M10 y con electrodo 6011 como se muestra en la figura 5.12, la pistola estará sujeta al carro con un eje de soporte de acero AISI 1020 maquinado de acuerdo al Anexo L-2, sujeto a los brazos de soporte del Anexo L-11 y unidos con perno M5 x ½ plg. Ver figura 5.13.



**Figura 5.12.:** Perno soldado al carro transversal para el envase.

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)



**Figura 5.13.:** Soporte para la pistola de pintura.

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

### 5.11. MONTAJE DE LOS MOTORES DE MOVIMIENTO TRANVERSAL Y LONGITUDINAL.

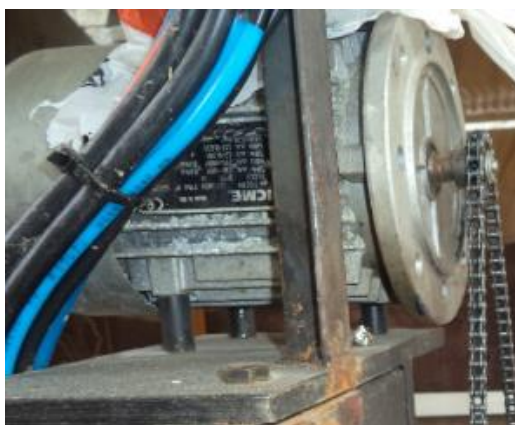
El motor transversal estará sujeto a la base de carro longitudinal con base para motor con pernos de hexagonales de  $\frac{1}{4}$  x  $\frac{1}{2}$  plg. Ver figura 5.14.



**Figura 5.14.:** Motor para movimiento trasversal.

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

El motor longitudinal estará ubicado en la base soldada en la estructura de acuerdo al Anexo L-1 y sujeto con pernos M10. Ver figura 5.15.



**Figura 5.15.:** Motor para movimiento longitudinal.

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa).

## 5.12. MONTAJE DE LOS DUCTOS NEUMÁTICOS.

Se utilizará tubería neumática de poliuretano de 12 y 6 mm. Para la línea de control de los actuadores neumáticos se usará tubería de 6 mm con acoples rectos de 6 mm x ¼. Ver figura 5.16.



**Figura 5.16.: Actuador con tubería neumática de 6 mm.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

Estas estarán conectadas a las electroválvulas en el panel de control como se aprecia en la figura 5.17, para la línea de control de la pistola automática se usará una tubería de 12 mm unidos a la pistola con acoples mixtos de 10 mm como se aprecia en la figura 5.18 y conectadas a sus respectivas electroválvulas.



**Figura 5.17.: Electrovalvulas.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)



**Figura 5.18.: Pistola automática con tubería neumática de 12 mm.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

La línea de aire para el soplado de la pintura será conectado directamente a la unidad de mantenimiento con acople recto de 12 mm ubicado en el tablero de control. Ver figura 5.19.



**Figura 5.19.: Unidad de mantenimiento.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

### **5.13. CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DEL SOPORTE PARA AJUSTE DEL TAMAÑO DE LA PUERTA.**

En la construcción del soporte se usará acero estructural ASTM A36, para lo cual primero se procede a cortar el material con las dimensiones especificadas en el Anexo L-3 como se puede ver en la figura 5.20, posteriormente soldar todas las piezas con electrodo 6011, el tipo de unión utilizada se detalla en el WPS. (Ver anexo K-2.)



**Figura 5.20.: Soporte para ajuste de la puerta.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

Para el libre movimiento del soporte a lo largo de la estructura de procederá a maquinar rodillos de acero AISI 1020 con la dimensiones especificadas en el Anexo L-13. Ver figura 5.21.



**Figura 5.21.: Rodillos.**

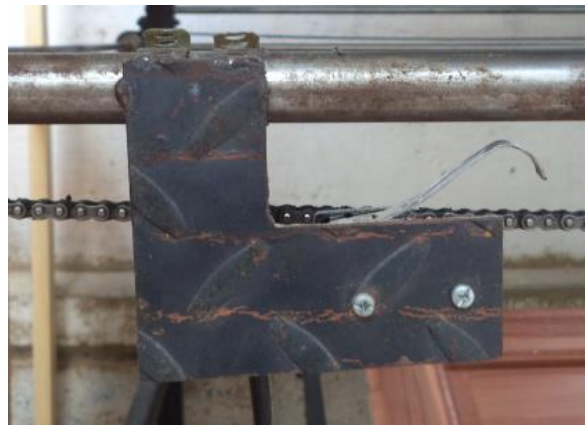
**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

#### **5.14. MONTAJE DE LOS MICROS SWITCH E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO.**

El montaje del sistema eléctrico cuenta con la presencia de los elementos para realizar las conexiones pertinentes para el proceso automático, con un voltaje de trabajo general de la máquina de 220 VAC más un neutro.

#### 5.14.1. MONTAJE DE LOS MICROS SWITCH.

Los micros switch longitudinales estarán ubicados al principio y final del eje como se muestra en la figura 5.22, estos micros switch permitirán sensar el movimiento longitudinal de la pistola.



**Figura 5.22.: Micros switch ubicados longitudinalmente.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

Los micros switch transversales estarán ubicados al principio y final del eje transversales como se muestra en la figura 5.23, estos micros permitirán sensar el movimiento transversal de la pistola.



**Figura 5.23.: Micros switch ubicados trasversalmente.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

#### 5.14.2. CABLEADO ELÉCTRICO DE LOS MICROS SWITCH.

Los cables de conexión eléctrica de los micros switch, motor de movimiento transversal, mangueras neumáticas, carros trasversales irán enrollados en los rieles del cableado de la estructura. Ver figura 5.24.



**Figura 5.24.: Rieles de cableado.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

#### 5.15. MONTAJE DEL TABLERO DE CONTROL.

El montaje del tablero se lo hace de manera que el operador no tenga ningún problema de utilizarlo, el tablero será de 50 x 60 x 25 cm el cuál será sujeto por medio de un brazo a la estructura de la máquina. Ver figura 5.25.



**Figura 5.25.: Tablero de control.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

### 5.16. MONTAJE DE BORNERAS, RIEL DIN Y CANALETAS.

Las borneras a utilizar será para un calibre de conductor # 12 ya que el conductor máximo a utilizar será un # 12 AWG FLEXIBLE, estos irán montados sobre Riel Din. Ver figura 5.26.



**Figura 5.26.: Riel Din y Canaletas.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

Las borneras servirán para conectar el cableado externo de los sensores y actuadores con dispositivos de control dentro del tablero, se instalarán canaletas ranuradas de 20 x 30 mm para facilitar la instalación del cableado. Ver figura 5.27.



**Figura 5.27.: Borneras.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

### 5.17. CIRCUITO DE FUERZA.

La máquina cuenta con un mini circuito de fuerza, esto se debe a las bajas corrientes de consumo de los dos motores que no pasa de 3 A, por



lo cual para la conexión del variador y fuente de alimentación del motor DC se usarán conductores # 3 x 14 AWG FLEXIBLE con terminales de conexión tipo Pin.

Para la protección cuenta con un breaker principal de 2 polos 22 A, porta fusibles de 6 A para proteger al variador y fuente de alimentación del motor DC. Ver la figura 5.28.



**Figura 5.28.: Protección para el circuito de fuerza.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

## 5.18. CIRCUITO DE CONTROL

El cableado de este circuito se realizará con un conductor # 18 AWG FLEXIBLE para la conexión del PLC-HMI, fuente de alimentación, terminales externos de control del variador y micro relés.

Este circuito consta de una protección por fusible de 2 A para la protección del PLC-HMI y otro de 6 A para la fuente de alimentación del mismo, todas estas conexiones se realizarán con terminales de conexión tipo pin. Ver figura 5.29.



**Figura 5.29.: Circuito de control.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

### **5.19. CONSTRUCCIÓN DE LA CABINA DE PINTURA.**

Para la construcción de la cabina se utilizó planchas de madera de 10 mm de espesor para tener a una temperatura de secado de la puerta entre 25°C a 30°C. Para la construcción de la cabina se lo realiza según el Anexo L-15. Ver figura 5.30.



**Figura 5.30.: Construcción de la cabina de pintura.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

## 5.20. MONTAJE DEL CALEFACTOR CON EL CONTROL DE TEMPERATURA.

Se montó el calefactor de potencia de 1000 W a la cabina de pintura para mantener el calor dentro de la misma con la temperatura establecida anteriormente. Ver figura 5.31



**Figura 5.31.: Calefactor con el control de temperatura.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

## 5.21. IMPLEMENTACIÓN DEL PLC-HMI SELECTOR Y PARO DE EMERGENCIA.

Para esto se procede a realizar agujeros en la parte frontal del tablero, se taladrarán dos agujeros de 22 mm para el paro de emergencia y selector de encendido, para el PLC-HMI se procederá a realizar el agujero de acuerdo a las dimensiones de la misma. Ver figura 5.32.



**Figura 5.32.: Tablero de control.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

## 5.22. PROGRAMACIÓN DEL PLC-HMI RENU FP 4030.

El PLC-HMI RENU FP 4030 es un controlador completamente compacto con la interface HMI y módulos de entrada y salida, por lo cual no necesita ningún tipo de dispositivo extra como se aprecia en la figura 5.33, las características técnicas del PLC se detalla en el Anexo J-1.



**Figura 5.33.: PLC-HMI RENU FP 4030.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

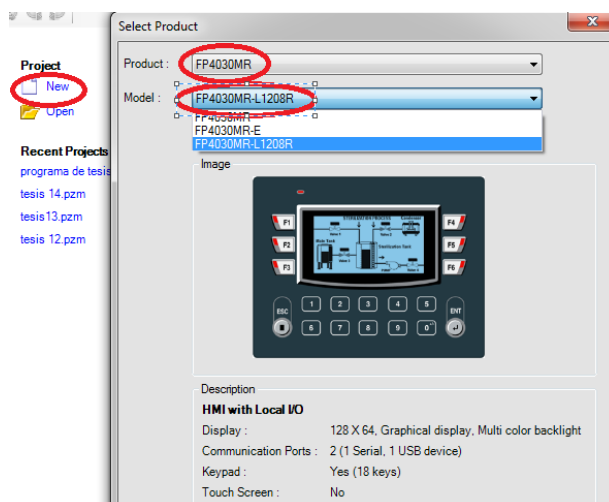
La programación del PLC permite tener un sistema automático y adicionalmente una pequeña interface, para empezar a programar hay que tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- Verificar que esté conectado correctamente la fuente de alimentación de 24 VDC para el PLC.
- Verificar que todas las conexiones de fuerza y de control estén correctamente realizadas y ajustadas.
- Verificar el ajuste de las entradas y salidas del PLC.

## 5.23. PROGRAMACIÓN DEL CIRCUITO DE CONTROL.

Para la programación del PLC se utilizó el programa Flexi-Soft propia de los RENU, el programa es muy amigable ya que se lo realiza con lenguaje Ladder (Bloque de contactos.)

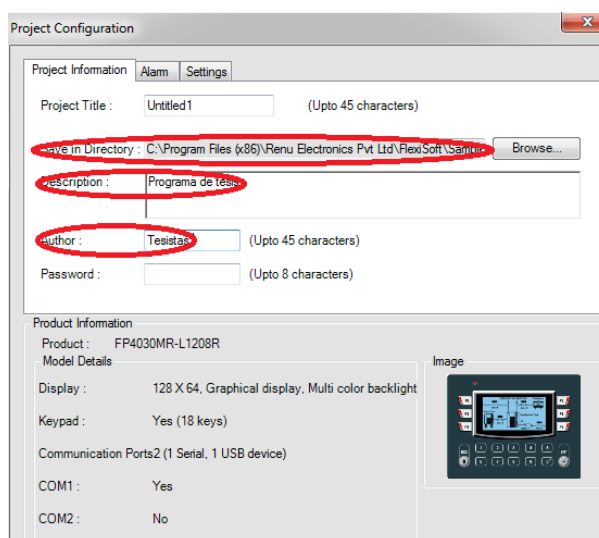
Para empezar a programar en el software Flexi-Soft, primero se debe dar un click en la pestaña de NEW y luego escoger el producto y el modelo del PLC. Ver figura 5.34.



**Figura 5.34.: Ventana de inicio - selección del modelo.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

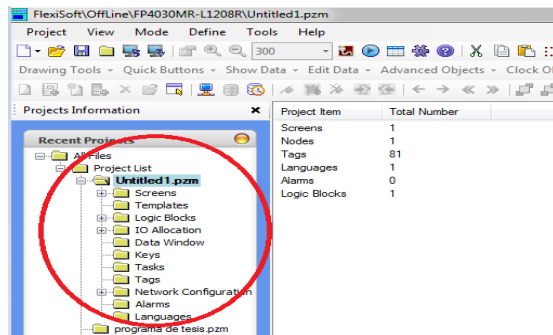
Luego de esto se desplegará una pantalla en la cual se llenará los espacios en blanco que se desee. Ver figura 5.35.



**Figura 5.35.: Ventana de inicio, configuración.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

Una vez configurado la pantalla aparecerá todo el contorno de trabajo, la cual se verá en la parte izquierda de la misma todo el mapa de proyecto en el que se trabajará, en este se detalla las carpetas de pantallas, bloques lógicos, tags, keys, etc. Ver figura 5.36.

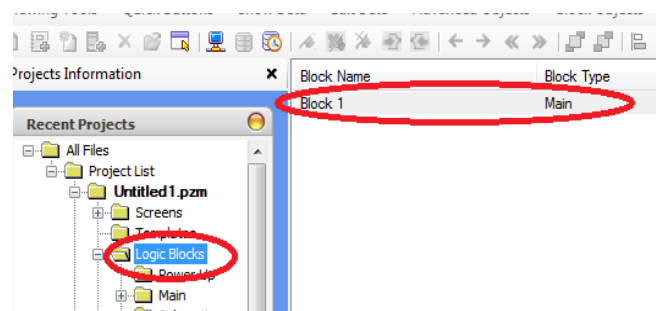


**Figura 5.36.: Pantalla de proyecto.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

Antes de empezar con la programación primero se realizó una prueba para verificar el correcto funcionamiento de las entradas y salidas del PLC-HMI, para lo cual se conecta la PC con el PLC a través del puerto USB.

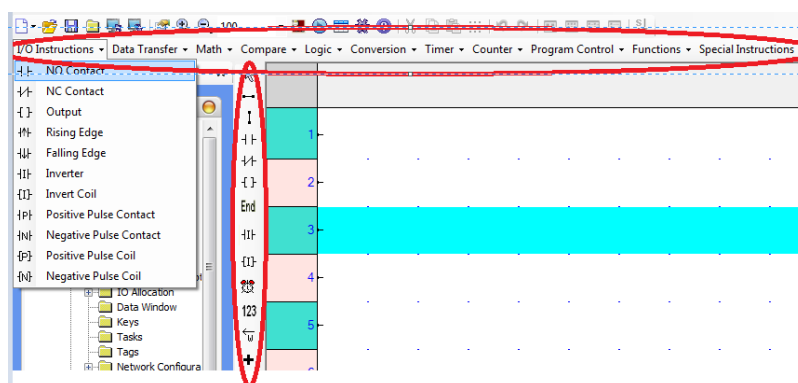
Posterior a esto se realiza un pequeño programa, para esto se dirige hacia la carpeta de Logic Block del software y se abrirá una pantalla de programación en Ladder. Ver figura 5.37.



**Figura 5.37.: Acceso a la pantalla de programación - Ladder.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

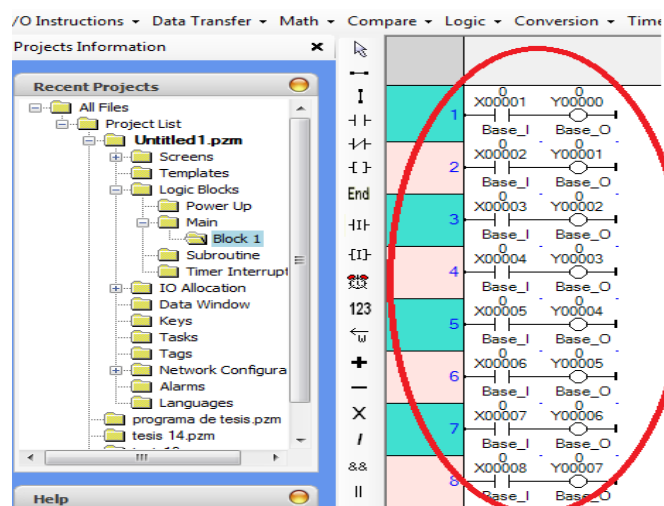
Se despliega una pantalla de programación Ladder, esta consta con una barra de herramientas en la cual se encuentran todos los componentes necesarios para la programación tales como instrucciones, temporizadores, comparadores, contadores, registro de datos, entre los más principales. Ver figura 5.38.



**Figura 5.38.: Pantalla de programación Ladder.**

**Fuente:** Javier Espín y Wilson Guanoluisa.

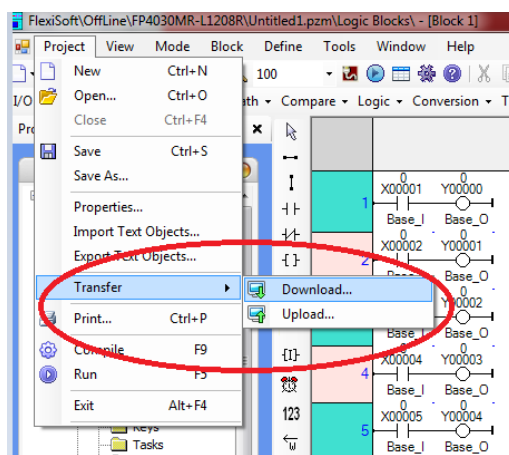
Se procede hacer un pequeño programa enlazando una entrada con una salida para comprobar la comunicación entre estos. Ver figura 5.39.



**Figura 5.39.: Programa de prueba de entradas y salidas del Plc.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

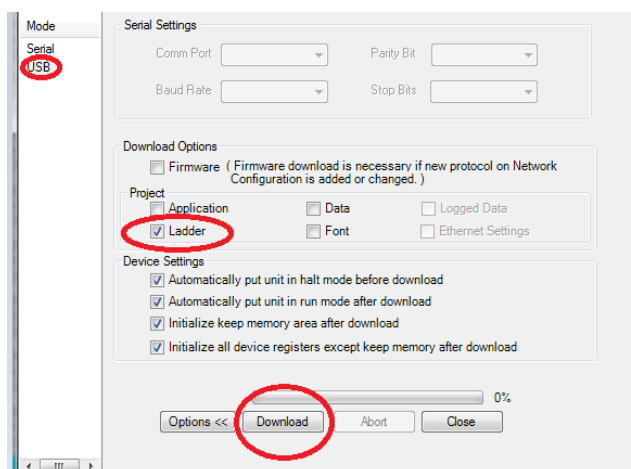
Una vez realizada la programación se procederá a cargar al PLC, para esto se dirigirá a la pestaña Project y dar un click en la opción Transfer-Download. Ver figura 5.40.



**Figura 5.40.: Descarga del programa.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

Se desplegará una pantalla de Download to Device, aquí se escogerá lo que se necesite cargar, en este caso solo se desea cargar la aplicación en Ladder como se muestra en la figura 5.41, en esta pantalla también se puede escoger el tipo de descarga ya sea USB o Cable Serial.



**Figura 5.41.: Carga de la aplicación Ladder.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)



Una vez cargado al PLC se procedió a dar señales manuales desde los micros relés y el resultado final es el correcto funcionamiento de las entradas y salidas.

Ya verificado el correcto funcionamiento del PLC se procede con la programación del proyecto a realizar, para lo cual primero se procede a declarar las variables de entrada, salida y denominación de las Screens que se va a utilizar en el display del PLC. Ver en la tabla 5.1

**Tabla 5.1.: Variables de entrada.**

<b>ELEMENTO FÍSICO</b>	<b>VARIABLE DE ENTRADA</b>
Micro longitudinal 0	X0
Micro longitudinal 1	X1
Micro transversal 0	X2
Micro transversal 1	X3
Micro transversal 2	X4
Sensor de bajo nivel de pintura	X5
Sensor de presión de aire	X6
Paro de emergencia	X7

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

En la tabla 5.2 se muestran las denominaciones de las variables de salida, las cuales van a activar los relés de control y electroválvulas.

**Tabla 5.2.: Variables de salida.**

<b>ELEMENTO FÍSICO</b>	<b>VARIABLE DE SALIDA</b>	
	<b>FESTO</b>	<b>FLEXI-SOFT</b>
Electroválvula control accionamiento de pistola	A+/A-	Y0
Electroválvula giro de la pistola	B+/B-	Y1
Electroválvula giro de la puerta	C+/C-	Y2
	<b>VARIADOR</b>	<b>FLEXI-SOFT</b>
Giro horario motor AC	P1	Y3
Giro anti horario motor AC	P2	Y4
	<b>RELÉS</b>	<b>FLEXI-SOFT</b>
Giro horario motor DC	R3	Y5
Giro anti horario motor DC	R4	Y6

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

En la tabla 5.3 se detalla las denominaciones de las Screens, teclado numérico y funciones.

**Tabla 5.3.: Screens y teclado numérico.**

<b>FUNCIÓN.</b>	<b>NÚMERO DE SCREEN.</b>	<b>NÚMERO DE TECLADO.</b>
Pantalla general de arranque	Screen 1	F2
Pantalla alarma de bajo nivel de pintura	Screen 2	-----
Pantalla alarma de bajo presión de aire	Screen 3	-----
Pantalla pulsador de paro activado	Screen 4	-----
Pantalla proceso terminado	Screen 5	-----
Posición cero	Screen 1	# 1
Inicio de ciclo de pintado	Screen 1	# 2
Reset del sistema	Screen 1	# 3
Reloj	Screen 6	F1

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

Una vez declarado las variables se procede con la programación de acuerdo a la lógica de control que se requiere que la máquina haga, en el Anexo J-6 se detalla completamente toda la programación requerida para el control automático.

#### **5.24. PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.**

Una vez realizado la construcción y montaje de toda la máquina es necesario realizar pruebas en cada uno de los sistemas antes de proceder al arranque en una forma total, una vez realizado todas las pruebas se hará un análisis de resultados que tendrá como resultado el correcto funcionamiento de la máquina:

##### **5.24.1. PRUEBA DE OPERACIÓN DEL SISTEMA NEUMÁTICO.**

En este sistema se debe analizar el funcionamiento de los actuadores neumático, electroválvulas y unidad de mantenimiento.

En esta prueba primero se procedió a cargar las líneas de aire comprimido con una presión de 6.9 Bar de acuerdo a los cálculos ya establecidos, teniendo como regulador y filtro de aire a la unidad de mantenimiento.

##### **a. PRUEBAS A LAS ELECTROVÁLVULAS.**

Se procede a realizar la carga de aire para controlar eléctricamente cada una de ellas, para esto se procede a dar pulsos On - Off desde el PLC, con esto se verifica el correcto funcionamiento de las electroválvulas y también a su vez las conexiones eléctricas, como se aprecia en la figura 5.42.



**Figura 5.42.: Electroválvulas.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

### **b. PRUEBAS A LOS ACTUADORES NEUMÁTICOS.**

Para esta prueba se precede a conectar las mangueras neumáticas se verifica que no tengan ningún problema al trabajar con las respectivas cargas.

### **c. ACTUADOR DE GIRO DE LA PISTOLA.**

El objetivo de este actuador es de proveer el desplazamiento con un ángulo determinado a la pistola para poder pintar los filos de la puerta, esto quiere decir que la carga máxima a mover será el mecanismo de giro y de pistola.

Con todo esto se procedió a inyectar el aire comprimido en la electroválvula de control y a la vez controlarla desde la PLC, dando como resultado favorable un giro correcto como se puede apreciar en la figura 5.43.



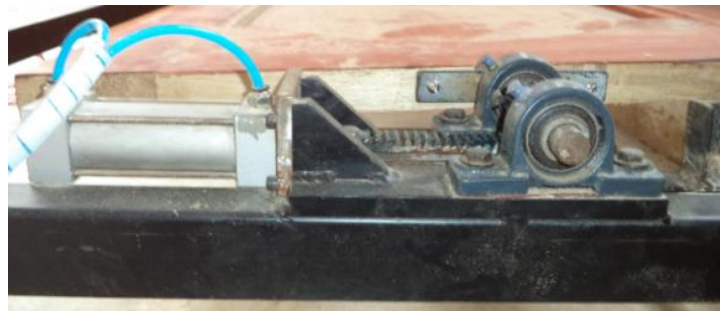
**Figura 5.43.: Actuador de giro de la pistola.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

#### d. ACTUADOR DE GIRO DE LA PUERTA.

El objetivo es proveer un giro de 180° a la puerta para que esta pueda ser pintada en las dos caras de la misma, para esto se utilizó un mecanismo de piñón y cremallera movidos por el actuador.

En esta prueba primero se procederá a cargar la puerta con el mecanismo de ajuste y el de giro, esto también servirá para verificar si el mecanismo soporta el peso de la puerta de acuerdo a los cálculos realizados, una vez cargada se procede a inyectar aire y controlar desde el PLC dando como resultado final el giro de la puerta y a su vez también se pudo verificar el correcto funcionamiento del mecanismo de soporte, como se aprecia en la figura 5.44.



**Figura 5.44.: Actuador de giro de la puerta.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

#### e. PISTOLA NEUMÁTICA.

En la prueba de la pistola neumática se procede a controlar el flujo de aire de control y de presión de pintura, de la misma forma como se realizó la prueba en los actuadores procedemos hacerlo en la pistola automática.

Con esto se comprobó un correcto funcionamiento de la pistola, como se aprecia en la figura 5.45.



**Figura 5.45.: Pistola neumática.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

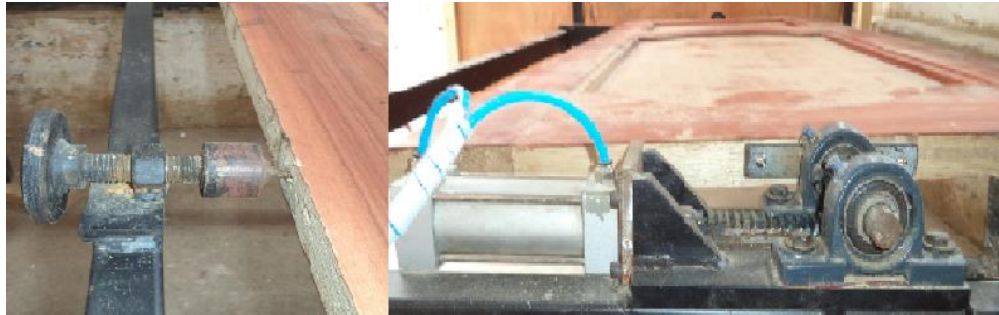
#### **5.24.2. PRUEBA DE OPERACIÓN DEL SISTEMA MECÁNICO.**

Estas pruebas se las realizó a la estructura de giro y sujeción de la puerta, al movimiento del carro en forma longitudinal y transversal.

##### **a. PRUEBAS EN LA ESTRUCTURA DE GIRO Y SUJECIÓN DE LA PUERTA.**

A la estructura se le cargó con una puerta 2.10 x 90 m y de 27 Kg de peso, una de las puertas más grandes que se fabrican, las pruebas se lo realizó en forma manual controlando independientemente al actuador de giro de puerta.

La parte de la estructura de sujeción no sufrió ninguna deformación y tuvo un buen agarre la puerta, la misma gira completamente sobre sus ejes, hay que acotar que para sujetar a la puerta hay que tomar correctamente el centro del punto de contacto de los extremos del mismo con una pequeña tolerancia de 2 a 3 cm. Ver figura 5.46.



**Figura 5.46.: Sujeción de la puerta.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

## **b. PRUEBAS DE MOVIMIENTO TRANSVERSAL.**

Para esta prueba primero se procede a engrasar todas las partes móviles (cadenas, piñones, ejes, husillo y catalinas) de la máquina con grasa liviana, esta prueba se lo realiza activando el motor de movimiento transversal (Ver figura 5.47.) desde el PLC, con esta prueba se observó el correcto movimiento de carro de izquierda a derecha sin vibraciones así como también el tiempo que se demora en trasladarse desde la posición cero hasta el tope final y el resultado es una velocidad de 0.15 m/s.



**Figura 5.47.: Carro de movimiento transversal.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)



### c. PRUEBAS DE MOVIMIENTO LONGITUDINAL.

En esta prueba el movimiento es producido por un motor trifásico AC y controlado por un variador de frecuencia, esta combinación tiene como propósito mantener velocidades variables, aceleración y frenado en cortos tiempos.

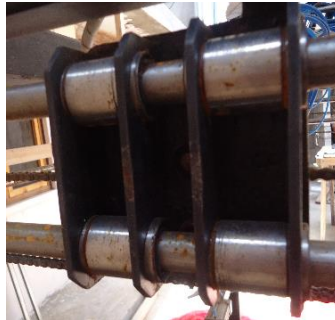
Las pruebas se lo realizó en tres frecuencia diferentes (10, 15, 25 Hz) para verificar la velocidad en (m/s) como se observa en la tabla 5.4, en los tres valores la máquina tuvo un comportamiento muy aceptable en los tiempos de aceleración y desaceleración, estos tiempos son muy importantes porqué de estos depende que no se desperdicie la pintura en el arranque de la máquina.

**Tabla 5.4.: Tiempos en función de la frecuencia.**

<b>Velocidad (m/s)</b>		
<b>Frecuencia (Hz)</b>	<b>Movimiento derecho</b>	<b>Movimiento izquierdo</b>
10	1,2	1,2
15	1,5	1,5
25	2	2

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

En esta prueba se pudo observar que el carro (Ver figura 5.48.) se desplaza a una velocidad muy uniforme, siendo de mucha importancia ya que de esta depende una uniformidad del acabado en la superficie de la puerta y un correcto consumo de pintura.



**Figura 5.48.: Carro de movimiento longitudinal.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

### **5.24.3. PRUEBA DE OPERACIÓN DEL SISTEMA DE ELÉCTRICO.**

Esta prueba se realizó básicamente en los micros switch, en la comunicación del PLC y panel HMI.

#### **a. PRUEBAS DE MICRO SWITCH.**

Los micro switch como se muestra en la figura 5.49 tienen un contacto abierto y uno cerrado, cuando se acciona el contacto abierto dejará pasar voltaje que energizará la entrada correspondiente del PLC, esta prueba se lo realizó accionando independientemente cada micro switch, verificando continuidad en las entradas del PLC y nos dio un buen resultado en todas las conexiones, estas señales son necesarias para determinar la posición que tendrá el carro en sus dos movimiento.



**Figura 5.49.: Pruebas en los micros switch.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

## **b. PRUEBAS DE COMUNICACIÓN.**

Para realizar las pruebas de todo el sistema eléctrico de mando y control, el programa creado en el software debe ser descargado hasta el PLC-HMI, para que este ejecute todas las líneas de programación y controle tanto las variables de entrada como las de salida, para ello se conectó el cable en un extremo al PLC y el otro extremo con entrada USB a la PC como se observa en la figura 5.50.



**Figura 5.50.: Conexión del PLC HMI con la PC.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

La comunicación de este PLC HMI con la PC es muy sencilla, ya que no necesita de ningún otro dispositivo para establecer la comunicación.

Esta interface de comunicación fue de mucha importancia para poder observar en tiempo real el comportamiento de las líneas de programación y de esta manera poder encontrar y corregir errores en la misma.

### **c. PRUEBAS DEL PANEL HMI.**

Las pruebas de este panel fueron en las teclas directas de entrada para el control de la máquina y la verificación de alarmas de acuerdo a lo programado en el software y el resultado fue muy favorable. Ver figura 5.51.



**Figura 5.51.: Pruebas del Panel HMI.**

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

En la prueba de alarmas, para verificar el correcto funcionamiento se procedió a activar intencionalmente cada sensor de alarma (bajo nivel de pintura, baja presión de aire), el resultado fue bueno ya que en el panel HMI se despliega el texto correcto de acuerdo a cada alarma.

### **5.25. MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.**

Estos manuales de operación y mantenimiento de la cabina se encuentran en el Anexo N-1

## CAPÍTULO VI.

### 6. ANÁLISIS FINANCIERO.

#### 6.1. ANÁLISIS ECONÓMICO.

El análisis financiero es de mucha importancia para el desarrollo del proyecto, ya que toda la inversión realizada por parte de la empresa debe ser recuperable a corto plazo o dentro de plazo establecidos.

En las tablas siguientes se detallan los costos de cada uno de los elementos utilizados mecánicos, neumáticos, eléctricos, electrónicos utilizados para la construcción de la máquina, consideradas como inversión del proyecto.

##### 6.1.1. ELEMENTOS MECÁNICOS.

Es el costo de la inversión de los materiales mecánicos que se va a utilizar para la estructura y movimiento de la máquina. Ver tabla 6.1.

**Tabla 6.1.: Gastos de los elementos mecánicos.**

NUM.	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT.	V. UNIT.	V. TOTAL
1	Tubo cuadrado ASTM A36 de 40 x 60 x3 mm	Metro	16	4,5	72,00
2	Eje de acero AISI 4140 de 20 mm	Metro	12,6	6,50	81,90
3	Eje de acero AISI 1020 de 15 mm	Metro	3	4	12,00

4	Husillo a bolas de acero inoxidable de 16 mm paso 5 mm	Metro	1,5	100	150,00
5	Cadena paso # 25.	Metro	12	6,60	79,20
6	Catalina # 25-13 dte.	Unidad	1	5	5,00
7	Catalina #25-30 dte.	Unidad	4	8	24,00
8	Catalina # 25-72 dte.	Unidad	1	15	15,00
9	Chumaceras de ½ pulgada.	Unidad	6	5	30,00
10	Rodamientos lineales de 20 mm	Unidad	12	15	180,00
11	Tornillo de 16 mm paso 5 (Husillo).	Unidad	1	50	50,00
12	Piñones M2 de 18 dientes.	Unidad	2	15	30,00
13	Cremalleras M2 de 18 dientes	Unidad	2	4	8,00
14	Rodamiento 6000 SKF	Unidad	4	1	4,00
15	Placa de acero estructural ASTM A36 de 5 mm.	m <sup>2</sup>	1,5	25	37,50
16	Soporte de acero AISI 1020.	Unidad	1	7	7,00
				<b>TOTAL:</b>	<b>785,60</b>

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

### 6.1.2. ELEMENTOS NEUMÁTICOS.

Es el costo de la inversión de los materiales neumáticos que se va a utilizar para el pintado de la máquina. Ver tabla 6.2.

**Tabla 6.2.: Gastos de los elementos neumáticos.**

NUM.	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT.	V. UNIT.	V. TOTAL
1	Pistola automática de 1.3 mm.	Unidad	1	190	190,00
2	Unidad de mantenimiento.	Unidad	1	54	54,00
3	Vaso de pintura.	Unidad	1	20	20,00
4	Cilindro neumático carrera 100mm.	Unidad	2	30	60,00
5	Electroválvulas 5/2 - 220 VAC	Unidad	4	40	160,00
6	Manguera neumática 12 mm	Metro	15	2,60	39,00
7	Manguera neumática 6 mm	Metro	15	1,55	23,25
8	Acople recto 12 mm.	Unidad	30	1,23	36,90
9	Válvula reguladora 12 mm.	Unidad	1	10	10,00
10	Unión recta de 12 mm.	Unidad	6	2	12,00

11	Acople recto macho y hembra 12mm	Unidad	1	7	7,00
				<b>TOTAL:</b>	<b>612,15</b>

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

### 6.1.3. ELEMENTOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS.

Es el costo de la inversión de los materiales eléctricos y electrónicos que se va a utilizar para el tablero de mando de la máquina. Ver tabla 6.3.

**Tabla 6.3.: Gastos de los elementos eléctricos y electrónicos.**

NUM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT.	V. UNIT.	V. TOTAL
1	PLC-HMI RENU FP4030.	Unidad	1	700	700,00
2	Variador LS i5.	Unidad	1	180	180,00
3	Motor trifásico ICME ½ hp, 220VAC	Unidad	1	80	80,00
4	Motor DC 25W-12V	Unidad	1	40	40,00
5	Fuente DC 24V- 3A	Unidad	1	70	70,00
6	Fuente DC 12V- 2A	Unidad	1	30	30,00
7	Controlador PID de Temperatura.	Unidad	1	70	70,00
8	Calefactor 1000 W	Unidad	1	25	25,00
9	Micro relés 24 VDC.	Unidad	4	7	28,00
10	Breaker de 2 polos 22A.	Unidad	1	10	10,00



11	Micro - switch NA/NC.	Unidad	5	5	25,00
12	Pulsador tipo hongo con retención	Unidad	1	4	4,00
13	Selector de 2 posiciones	Unidad	1	4	4,00
14	Porta fusible 32 A.	Unidad	3	1,50	4,50
15	Fusible 2 A.	Unidad	1	0,35	0,35
16	Fusible 6 A.	Unidad	2	0,35	0,70
17	Riel Din.	Metro	2	1,70	3,40
18	Canaleta Ranurada 30 x 40.	Unidad	1	2,50	2,50
19	Borneras # 14.	Unidad	45	0,35	14,00
20	Terminales tipo PIN.	Funda	2	1,25	2,50
21	Alambre # 18 AWG.	Metros	50	0,25	12,50
22	Cable # 3x14 AWG.	Metro	10	1,25	12,25
23	Cable # 6x18 AWG.	Metro	10	2,75	27,50
24	Sensor de nivel.	Unidad	1	4	4,00
25	Termocupla Tipo J.	Unidad	1	5	5,00
26	Lámpara fluorescente 2 x 32 W.	Unidad	1	15	15
27	Interruptor simple.	Unidad	1	1,50	1,50
28	Alambre Gemelo # 14.	Metro	7	0,40	2,80
				<b>TOTAL:</b>	<b>1374,50</b>

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

#### 6.1.4. COSTOS DE MAQUINADO.

**Tabla 6.4.: Costos de maquinado.**

NUM.	DESCRIPCIÓN.	V. TOTAL.
1	Torno.	50,00
2	Fresado.	20,00
3	Oxicorte.	15,00
	<b>TOTAL:</b>	<b>85,00</b>

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

#### 6.1.5. COSTO DIRECTO TOTAL.

**Tabla 6.5.: Costo directo total.**

NUM.	DESCRIPCIÓN.	V. TOTAL.
1	Costo directo.	2772,25
2	Costo de maquinado.	85,00
3	Costo de montaje.	200,00
	<b>TOTAL:</b>	<b>3057,25</b>

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

#### 6.1.6. COSTOS INDIRECTOS.

**Tabla 6.6.: Costos indirectos.**

NUM.	DESCRIPCIÓN.	V. TOTAL.
1	Pernos y tuercas.	30,00
2	Pintura anticorrosiva (2 litros.)	20,00
3	Transporte.	50,00
	<b>TOTAL:</b>	<b>100,00</b>

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

### 6.1.7. COSTO INDIRECTO TOTAL.

Es el gasto total de costos indirectos más gastos de imprevistos. Ver tabla 6.7.

**Tabla 6.7.: Costos indirecto total.**

NUM.	COSTOS	VALOR
1	Costos indirectos.	100,00
2	Gastos de imprevisto.	200,00
	<b>TOTAL</b>	<b>300,00</b>

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

### 6.1.8. COSTOS DE OPERACIÓN.

Es el consumo de energía eléctrica que va a tener la máquina y la mano de obra de los operarios, para poder calcular la potencia consumida ( $E$ ) se realiza la siguiente operación:

*Ec.6.1.*

$$E = \frac{P * 746W}{\eta}$$

$$E = \frac{2HP * 746W}{0.8}$$

$$E = 1,865 KW$$

El costo del [Kwh] es de 0,092 ctv., por lo tanto el costo de cada hora será de 0.1715, esta máquina tendrá un trabajo de 3 horas diarias entonces el consumo eléctrico será de:

$$\text{Costo diario} = 0.1715 \frac{\$}{h} \times 3 \frac{h}{\text{dia}} = 0,5145 \frac{\$}{\text{dia}}$$

$$\text{Costo mensual} = 0.5145 \frac{\$}{\text{dia}} \times 30 \frac{\text{dia}}{\text{mes}} = 15,435 \frac{\$}{\text{mes}}$$

$$\text{Costo anual} = 15,435 \frac{\$}{\text{mes}} \times 12 \frac{\text{mes}}{\text{año}} = 185,22 \frac{\$}{\text{año}}$$

Además de los cálculos ya mencionados debe tomar en cuenta el gasto de un operador que trabaja con un sueldo básico de \$ 318 con el aporte al IESS, décimo tercero y décimo cuarto sueldo.

Para el aporte al IESS se tiene un porcentaje del 12,15% del sueldo básico (codigo-laboral-ecuatoriano, 2014):

$$\text{Aporte al IEES} = \$ 318 \times 12,15\%$$

$$\text{Aporte al IEES} = \$ 38,63$$

El décimo tercero se lo cancela cada 24 de diciembre, lo cual equivale al período desde el 1 de diciembre del año anterior hasta el 30 de noviembre del año en curso.

$$\text{Décimo Tercero} = \frac{356.63 \times 12}{12}$$

$$\text{Décimo Tercero} = \$356.63$$

Este pago se lo hace hasta el 15 de agosto de cada año en lo respecta a las regiones sierra y oriente recibiendo así un valor del salario mínimo que está en vigencia de \$ 240.

$$\text{Décimo Cuarto} = \$240$$

Por lo tanto el sueldo anual de un operador será el siguiente:

$$\text{Sueldo Anual} = \$ 318 \times 12 + \$ 356,63 + \$ 240 + \$ 38,63$$

$$\text{Sueldo Anual} = \$ 4451,26$$

El gasto de funcionamiento anual tiene como valor el siguiente:

$$\text{Gasto de Funcionamiento} = \$ 185,22 + \$ 4451,26$$

$$\text{Gasto de Funcionamiento} = \$ 4636.48$$

#### 6.1.9. GASTOS DE OPERACIÓN ANTES DE CONSTRUIR LA MÁQUINA.

Es la potencia que consumía el operador antes de que la máquina sea construida, solamente funcionaba un compresor que consumía 1 HP por lo tanto se realiza la siguiente operación:

*Ec.6.2.*

$$E = \frac{P * 746W}{\eta}$$

$$E = \frac{1HP * 746W}{0.8}$$

$$E = 0.9345 KW$$

El costo del [Kwh] es de 0,092 ctv., por lo tanto el costo de cada hora será de 0.08579, esta máquina tendrá un trabajo de 5 horas diarias entonces el consumo eléctrico será de:

$$\text{Costo diario} = 0.08579 \frac{\$}{h} \times 5 \frac{h}{\text{dia}} = 0,42895 \frac{\$}{\text{dia}}$$

$$\text{Costo mensual} = 0.42895 \frac{\$}{\text{dia}} \times 30 \frac{\text{dia}}{\text{mes}} = 12.868 \frac{\$}{\text{mes}}$$

$$\text{Costo anual} = 12.868 \frac{\$}{\text{mes}} \times 12 \frac{\text{mes}}{\text{año}} = 154.42 \frac{\$}{\text{año}}$$

#### 6.1.10. COSTOS DE PRODUCCIÓN.

Tabla 6.8.: Costos de producción.

NUM.	DESCRIPCIÓN	CANT.	V. UNIT.	V. TOTAL
1	Pintura (Laca).	21 litros	15,60	327.60
2	Equipo de protección personal.	4	5.85	23,40
			<b>TOTAL:</b>	<b>351,00</b>

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

El costo de producción (*CP*) es mensual por lo tanto el costo anual es de

$$CP = 351 \times 12$$

$$CP = 4212$$

#### 6.1.11. GASTO TOTAL DE LA MÁQUINA.

Sumando todos los gastos se obtiene. Ver tabla 6.9.

Tabla 6.9. Gasto total.

GASTOS MECÁNICOS.	785,60
GASTOS ELÉCTRICOS-ELECTRÓNICOS.	1374,50

GASTOS NEUMÁTICOS.	612,15
GASTOS DE MAQUINADO.	85,00
GASTOS INDIRECTOS.	100,00
GASTOS DE OPERACIÓN (ENERGÍA).	185.22
GASTOS DE PRODUCCIÓN.	4212,00
<b>INVERSIÓN TOTAL:</b>	<b>7354.47</b>

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

Estos son todos los gastos que se tiene para poder construir y dar el correcto funcionamiento de la máquina con una inversión total de: **7354.47 DÓLARES AMERICANOS.**

## 6.2. ESTRUCTURA DE FINANCIAMIENTO.

La tesis será financiada en su totalidad por la empresa “**MUEBLERÍA EL PINO**”.

## 6.3. INVERSIÓN DE INICIAL DE LA MÁQUINA.

En la siguiente tabla 6.10 se muestra la inversión inicial de la máquina:

**Tabla 6.10.: Inversión inicial de la máquina.**

<b>TIPO DE COSTO.</b>	<b>VALOR (USD).</b>
Costo directo total.	<b>3057,25</b>
Costo indirecto total.	<b>300,00</b>
<b>TOTAL:</b>	<b>3357,25</b>

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

#### 6.4. PROYECCIÓN DE LA INVERSIÓN PARA UN AÑO.

En la siguiente tabla 6.11 se muestra la inversión total de laca que se utiliza para pintar 540 litros en el año (El litro se toma un valor de \$15,60).

**Tabla 6.11.: Inversión total de laca anual.**

<b>TIPO DE COSTO</b>	<b>SISTEMA ANTERIOR. (2 TRABAJADORES)</b>	<b>SISTEMA ACTUAL. (1 OPERADOR)</b>
Puertas estándar de 80 x 110 cm.	\$ 4212,00	\$ 2808
Gasto de mano de mano de obra.	\$ 8989,00	\$ 4494,50
Energía eléctrica.	\$ 36,03	\$ 43,24
Mantenimiento.	\$ 30,00	\$ 60
<b>TOTAL:</b>	<b>13267.03</b>	<b>7405,74</b>

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

#### 6.5. FLUJO DE CAJA.

Para realizar el flujo de caja se tiene que hacer una proyección estimada de 5 años, considerando los siguientes puntos:

- La ganancia estimada para el primer año considerando datos históricos es de **\$25920**.
- Para los años siguientes se estima un incremento en costos directos e indirectos de 2% anual.



- En la producción el propósito es de incrementar el 10% anualmente.

Con todos estos parámetros se procede a realizar el flujo de caja como se muestra en la tabla 6.12.

**Tabla 6.12.: Flujo de caja.**

<b>Detalle.</b>	<b>Año 0</b>	<b>Año 1</b>	<b>Año 2</b>	<b>Año 3</b>	<b>Año 4</b>	<b>Año 5</b>
<b>Inversión</b>	3357,2	7405,7	7553,8	7704,9	7859,0	8016,1
<b>Ventas.</b>	-----	25920	28512	31363,2	34499,5	37949,4
<b>Ganancia</b>	<b>3357,2</b>	<b>18514,2</b>	<b>20958,1</b>	<b>23658,2</b>	<b>26640,5</b>	<b>29933,2</b>

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

## **6.6. PERIODO DE RECUPERACIÓN DEL CAPITAL.**

### **6.6.1. VALOR PRESENTE NETO (VPN).**

Es el valor presente neto de los flujos de caja proyectados para todos los años durante el período de evaluación del proyecto, son las ganancias que puede reportar el proyecto, con un valor positivo si el saldo entre beneficios y gastos va a ser favorable para el proyecto y con un valor negativo en el caso contrario.

## E.c.6.3.

$$VPN = -K_0 + \sum_{i=1}^n \frac{Fc_i}{(1+D)^i}$$

Dónde:

$K_0$  = Inversión o capital inicial.

$Fc_i$  = Flujo de caja en el año i.

$D$  = Tasa de descuento real utilizada.

$i$  = Número de periodos de vida del proyecto.

$$VPN = -3357.25 + \frac{18514,26}{(1+0.1715)^1} + \frac{20958,15}{(1+0.1715)^2} + \frac{23658.28}{(1+0.1715)^3} \\ + \frac{26640.51}{(1+0.1715)^4} + \frac{29933.28}{(1+0.1715)^5}$$

$$VPN = 54338.38$$

El VPN calculado mediante los flujos de caja es de \$ 54338.38, este tiene un valor positivo por lo cual el proyecto es factible para poderlo realizar.

La tasa de rendimiento requerida fue establecida mediante los indicadores que se presentan a continuación:

- Riesgo país
- Tasa de inflación anual
- Tasa de interés pasiva

TMAR=riesgo país% + inflación anual % + interés pasiva % (Riggs, 2008, pág. 150)

$$TMAR = (6.24 + 1.71 + 4.53) \%$$

$$TMAR = 12.48 \%$$

### 6.6.2. TASA INTERNA DE RETORNO (TIR).

Es aquella tasa de descuento que reduce a cero el Valor Presente Neto. La TIR representa el porcentaje máximo de ganancia que se aspira obtener, si se ejecuta el proyecto en las mejores condiciones. Analíticamente la TIR se determina como:

*E.c.6.4.*

$$0 = -K_0 + \sum_{i=1}^n \frac{FC_i}{(1 + TIR)^i}$$

Para el cálculo de la TIR se va utilizar el valor total de la inversión y los flujos netos de efectivo y lo obtenemos por medio de EXCEL con la función TIR de lo que resulta:

$$0 = -3357.25 + \frac{18514,26}{(1 + TIR)^1} + \frac{20958,15}{(1 + TIR)^2} + \frac{23658.28}{(1 + TIR)^3} + \frac{26640.51}{(1 + TIR)^4} + \frac{29933.28}{(1 + TIR)^5}$$

$$TIR = 56,8 \%$$

La tasa interna de retorno es del 56,8%, que es el porcentaje máximo de ganancia que se aspira obtener en las mejores condiciones.

El TIR es mayor que la tasa de rendimiento requerida (TMAR) de la inversión, y por esta razón se considera que el proyecto es viable.

### 6.6.3. PERÍODO REAL DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN (PRI).

Se define como el tiempo en que se recupera la inversión inicial para una tasa de descuento D considerada. Se calcula como el momento para el cual el VPN se hace cero.

E.c.6.5.

$$0 = -K_0 + \sum_{i=1}^{PRI} \frac{Fc_i}{(1 + TIR)^i}$$

Para obtener el valor del PRI se le van adicionando gradualmente a la inversión inicial los flujos de caja anuales hasta que el resultado sea cero, en ese momento se ha recuperado la inversión.

#### 6.6.4. RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN.

De acuerdo al flujo de caja proyectado anteriormente se puede concluir que la empresa "EL PINO" recuperará su inversión inicial en un periodo de "1 año".

#### 6.6.5. RELACIÓN BENEFICIO - COSTO (RBC).

Se determina como la relación entre el valor presente neto de los beneficios VPNB y el valor presente neto de los costos VPNC.

En la determinación del VPNC hay que sumar al valor de los costos anuales descontados, el valor de la inversión inicial sin descontar, como se muestra a continuación:

$$RBC = \frac{VPNB}{VPNC} = \frac{18514,26}{3357.25}$$

$$RBC = \frac{18514,26}{3357.25}$$

$$RCB = 5,51$$

La relación beneficio costo es mayor equivalente a 5,51 por lo que fue muy conveniente para el proyecto. Esta razón indica que por cada dólar invertido en la cabina de pintura se recupera 5,51 dólares de ingreso.

En la tabla 6.13, se muestra los valores límites para que un proyecto sea económicamente viable.

**Tabla 6.13. Rango de valores límites para que el proyecto sea económicamente viable.**

<b>TÉCNICA DE EVALUACIÓN</b>	<b>RANGO</b>
VPN, \$	VPN > 0
TIR, %	TIR > D
PRI, años	PRI < n
RBC	RBC > 1

**Fuente:** (Horne, pág. 148)

En la tabla 6.14, se muestra los valores obtenidos en el análisis financiero realizado al proyecto, determinando que es económicamente viable.

**Tabla 6.14. Rango de valores obtenidos en el análisis financiero.**

<b>TÉCNICA DE EVALUACIÓN</b>	<b>RANGO</b>
VPN, \$	54338.38 > 0
TIR, %	60% > 15,64%
PRI, años	1 año < 5AÑOS
RBC	5.51 > 1

**Fuente:** (Javier Espin - Fabián Guanoluisa)

## 6.7. INTERPRETACIÓN DEL ANÁLISIS FINANCIERO.

- El VAN obtenido es de \$54338.38 permitiéndonos tener una decisión positivo para la viabilidad del proyecto; teniendo una TIR del 60%, y esta a su vez es mayor que el TMAR = 12,48 % de la inversión, por lo que se considera que el proyecto es viable.
- El periodo de recuperación es de 1 año, esto permite prever que se recuperará la inversión a corto plazo, siendo esto de gran satisfacción para los dueños de la empresa.
- Con los datos obtenidos se llega a la conclusión de que el proyecto es totalmente viable siendo de gran beneficio para la empresa **“MUEBLERÍA EL PINO.”**

## CAPÍTULO VIII.

### 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

#### 7.1. CONCLUSIONES.

- Se diseñó, construyó y automatizó una cabina de pintura climatizada para acabados de modulares de madera para la mueblería el pino obteniendo un mejoramiento notable en la aplicación de pintura.
- Se aumentó la velocidad de pintado y se mejoró los acabados superficiales debido a la optimización del proceso que se utiliza en la producción.
- Se realizó la selección y el dimensionamiento de los elementos que intervienen en la máquina, cuidadosa y correctamente, poniendo en óptimo funcionamiento la máquina.
- Los elementos del sistema mecánico fueron diseñados mediante los métodos analítico y tecnológico en el cual interviene el software SolidWorks 2013, con los cuales se estableció fundamentalmente parámetros como son: dimensión, tipo de sujeción, movimiento, esfuerzo máximo y factor de seguridad,
- Se realizó la comparación entre el cálculo analítico y el cálculo del software SolidWorks 2013, concluyendo que en los valores obtenidos existe una diferencia comprendida entre el 2% a 5%.
- Los elementos del sistema neumáticos fueron seleccionados y dimensionados de tal manera que exista la menor cantidad de

pérdidas. Se tomaron en cuenta todas las caídas de presión que se perdían en las mangueras y accesorios lo que permitió seleccionar adecuadamente los elementos neumáticos del sistema.

- Se diseñó, seleccionó, programó e implementó el sistema eléctrico de control y potencia cumpliendo con todos los parámetros necesarios para el funcionamiento automático de la cabina de pintura.
- Se realizó la programación del PLC con el lenguaje por bloques de funciones para la automatización.
- Con la automatización de la cabina se obtuvo un ahorro tanto en procesos de operación como de mantenimiento.
- Se obtuvo una distribución uniforme de temperaturas en todo el interior del horno permitiendo utilizar todo su volumen para un acabado de pintura excelente
- Las pruebas de funcionamiento fueron muy determinantes para establecer tiempos de activación de los elementos que intervienen en el movimiento transversal y vertical para regular el tamaño de la puerta a pintarse.
- Se elaboró los planos mecánicos, neumáticos y eléctricos de la cabina, los cuales fueron entregados a la empresa para realizar el mantenimiento de la misma.
- La cabina fue construida por un monto de **7354.47 dólares** que se recuperara toda su inversión en un año aproximadamente.



## 7.2. RECOMENDACIONES.

- Se recomienda revisar el manual de operación de la cabina antes de realizar cualquier operación con la misma, evitando así errores que afecten a la máquina o al personal.
- Se recomienda revisar el manual de mantenimiento de la cabina antes de realizar cualquier operación con la misma, evitando así errores que afecten a la máquina o al personal.
- Se recomienda la utilización de la válvula reguladora de presión para regular el caudal de pintura para el pintado del mismo.
- Para evitar un mal recubrimiento de pintura, se debe ubicar correctamente los micros switch, tener un suministro de pintura y un buen caudal calculado anteriormente.
- Aplicar y seguir a cabalidad normas de seguridad en la utilización de equipos de protección personal para evitar daños causados por el manejo de herramientas o materiales que intervienen sea en la operación o mantenimiento de la cabina.
- A los elementos mecánicos de máquinas recicladas se recomienda realizar pruebas de fisuras para confirmar que estos se encuentran en buen estado y que servirán para la aplicación que se le pretende dar.
- Se recomienda el engrase de la máquina para la circulación de los carros transversales como longitudinales.

- Antes de iniciar la programación de debe observar que no se encuentre ningún objeto en el área de operación ya que puede chocar la puerta con estos al momento de pintar y cuando va a dar el giro de la misma.
- Antes de tomar la decisión de implementar cualquier proyecto, hay que realizar un análisis financiero de factibilidad tanto económico como productivo, con lo que se determinará si es rentable asumir el costo de dicha inversión.

## BIBLIOGRAFÍA.

- Beer, Ferdinand P. (1997). Fuerzas, Mecánica Vectorial para Ingenieros, Estática (4 ed.). México, D.F. Ms.Graw.HILL.
- Faires. (1978). Termodinámica (6 ed.). México, D.F, Hispano Americana.
- Harper, Gilberto Enríquez. (2002). Elementos de Diseño de las Instalaciones Eléctricas Industriales (6 ed.). México, D.F:limusa.
- Horne, J. V. Administración Financiera (9 ed.).
- Mott. (2006). Diseño de Elementos de Máquinas (4 ed.). México: Pearson Education.
- Riggs, B. (2008). Ingeniería Económica (4 ed.).
- Shigley, J.E. y Mischke, C.R. (1985). Diseño en Ingeniería Mecánica (4 ed.). México Editorial MacGraw – Hill.
- Shigley, J.E. y Mischke, C.R. (2006). Diseño en Ingeniería Mecánica (8 ed.). México Editorial MacGraw – Hill.
- Teja, M. (1998). Automatización Neumática y Electroneumática (2 ed.). México: Alfaomega.
- Vélez, Rodrigo Robledo. (1992). Motores de Corriente Alterna y Controles (5 ed.).Medellín: Compuedición.

## NETGRAFÍA.

- Ascio Technologies, Inc. (26 de Agosto de 2008). Obtenido de [www.ascio.com](http://www.ascio.com): <http://www.arian.com>
- Deane, S. (18 de Enero de 2000). [www.totalregistrations.com](http://www.totalregistrations.com). <http://galia.fc.uaslp.mx/~cantocar//presentacionesneumatica1>.
- Enom, Inc. (11 de Octubre de 2011). [www.enom.com](http://www.enom.com). <http://www.monografias.com/trabajos13/actuneu/actuneu.shtml>
- Hagan, R. (11 de Marzo de 2003). [www.markmonitor.com](http://www.markmonitor.com). <http://www.google.com/ec/xa.yimg.com/kq/groups/21880819/name/Modelo+de+cabinas>.
- Obtenido de <http://www.camsco.com>
- Obtenido de <http://www.schneider-electric.com>
- Obtenido de <http://www.slideshare>. accesorios-eléctricos
- Obtenido de <http://www.woodkote.com/SpanishWebSitepdf>
- Obtenido de ©Festo Didactic GmbH & Co. KG y Art Systems FluidSIM
- Obtenido de <http://codigo-laboral-ecuadoriano.html>.