



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA.

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA.

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

AUTORES:

JOSÉ EDUARDO LÓPEZ PANCHI.

MILTON ARMANDO SANTO GUANOLUISA.

**TEMA: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DE CORTE
LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL DE LÁMINAS DE PLÁSTICO PVC
CON UN SISTEMA HMI PARA LA INDUSTRIA PLÁSTICA BROTHER’S”.**

DIRECTOR: ING. OSCAR ARTEAGA.

CODIRECTOR: ING. FREDDY SALAZAR.

LATACUNGA, SEPTIEMBRE 2014.

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE
DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA**

CERTIFICADO

ING. OSCAR ARTEAGA (DIRECTOR)

ING. FREDDY SALAZAR (CODIRECTOR)

CERTIFICAN:

Que el trabajo titulado “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DE CORTE LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL DE LÁMINAS DE PLÁSTICO PVC CON UN SISTEMA HMI PARA LA INDUSTRIA PLÁSTICA BROTHER’S**”, realizado por los señores **JOSÉ EDUARDO LÓPEZ PANCHI** y **MILTON ARMANDO SANTO GUANOLUISA**, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la Universidad de las Fuerzas Armadas - 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 ayudará a la aplicación de conocimientos y al desarrollo profesional, Si recomiendan su publicación.

El mencionado trabajo consta de UN documento empastado y UN disco compacto el cual contiene los archivos en formato portátil de Acrobat (pdf). Autorizan a los señores **JOSÉ EDUARDO LÓPEZ PANCHI** y **MILTON ARMANDO SANTO GUANOLUISA** que lo entregue a la ING. **KATIA TORRES**, en su calidad de Directora de la Carrera.

Latacunga, Septiembre del 2014.

Ing. Oscar Arteaga
DIRECTOR

Ing. Freddy Salazar
CODIRECTOR

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE
DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA**

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros,

JOSÉ EDUARDO LÓPEZ PANCHI

MILTON ARMANDO SANTO GUANOLUISA

DECLARAMOS QUE:

El proyecto de grado titulado **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DE CORTE LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL DE LÁMINAS DE PLÁSTICO PVC CON UN SISTEMA HMI PARA LA INDUSTRIA PLÁSTICA BROTHER’S”**, 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, Septiembre del 2014.

José Eduardo López Panchi

C. C. 050318969-8

Milton Armando Santo Guanoluisa

C. C. 050306682-1

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE
DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA**

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Nosotros,

JOSÉ EDUARDO LÓPEZ PANCHI

MILTON ARMANDO SANTO GUANOLUISA

AUTORIZAMOS

A la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE la publicación, en la biblioteca Virtual de la Institución del trabajo titulado: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DE CORTE LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL DE LÁMINAS DE PLÁSTICO PVC CON UN SISTEMA HMI PARA LA INDUSTRIA PLÁSTICA BROTHER’S”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Latacunga, Septiembre del 2014.

José Eduardo López Panchi

C. C. 050318969-8

Milton Armando Santo Guanoluisa

C. C. 050306682-1

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a Dios y a mi familia por la motivación que me han brindado para lograr cada una de mis metas.

José Eduardo.

El presente proyecto lo dedico de todo corazón a mi familia, de manera especial a mis queridos padres, Olga Beatriz y Luis Aníbal quienes depositaron su confianza en mí. Por el amor, cariño, comprensión y apoyo que me supieron brindar durante el transcurso de toda mi vida, y con el cual he podido culminar mi carrera profesional, por hacer todo lo posible para que no me falte nada, por apoyarme antes que económicamente moralmente para seguir con mi sueño, a ustedes mi admiración respeto y la promesa de demostrarles que su sacrificio diario no fue en vano.

Milton.

AGRADECIMIENTO

Un eterno agradecimiento principalmente a Dios y a mi familia quienes me han apoyado a lo largo de toda mi carrera.

¡Gracias de todo corazón!

José Eduardo.

Al culminar esta etapa importante de mi vida agradezco a Dios y a la Virgen María, por llenarme de vida, dicha y bendiciones.

A mis padres Luis Aníbal y Olga Beatriz que son un ejemplo de vida y mi inspiración para seguir adelante, por el esfuerzo diario realizado para que este sueño se haga realidad, por ello quiero que sepan que este logro son más merecedores ustedes antes que mi persona.

A mis queridos hermanos, a Lilia que a pesar de la distancia siempre permanece en mi corazón, a Rocío que siempre fue y es como mi segunda madre, a Marco por su apoyo incondicional en las alegrías, tristezas, triunfos y tropezones de la vida y a Fernando por contagiarnos con su permanente alegría a mí y a la familia.

A mis maestros a quienes debo gran parte de mis conocimientos, a ellos que hicieron posible que el proceso de aprendizaje sea de excelencia y calidad, a la ESPE que me abrió las puertas para formarme como un profesional, y a mis estimados compañeros por compartirme su amistad en toda la vida estudiantil.

Milton.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|----------------------------------|--------|
| PORTADA..... | i |
| CERTIFICADO..... | ii |
| AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD | iii |
| AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN..... | iv |
| DEDICATORIA | v |
| AGRADECIMIENTO | vi |
| ÍNDICE GENERAL..... | vii |
| ÍNDICE DE TABLAS | xxvi |
| RESUMEN..... | xxviii |
| SUMMARY..... | xxix |
| INTRODUCCIÓN | xxx |
| JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA..... | xxxi |
| OBJETIVO GENERAL | xxxii |
| OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | xxxii |

CAPÍTULO I.

MARCO TEÓRICO.

| | |
|--|---|
| 1.1. ANTECEDENTES..... | 1 |
| 1.1.1. Industria Plástica Brother's..... | 1 |
| 1.1.2. Infraestructura..... | 1 |
| 1.1.3. Producción de artículos de la línea escolar..... | 1 |
| 1.1.4. Fabricación de productos en film PVC..... | 2 |
| 1.1.5. Necesidades. | 3 |
| a. Corte transversal de las láminas PVC. (Etapa 2)..... | 3 |
| b. Corte longitudinal del bloque de láminas PVC. (Etapa 3) | 4 |
| 1.2. PLÁSTICOS PVC. | 4 |
| 1.2.1. Introducción. | 4 |
| 1.2.2. Fabricación del PVC. | 4 |
| 1.2.3. Características y propiedades técnicas generales..... | 5 |
| 1.2.4. Transformación del PVC..... | 5 |
| 1.2.5. Compuestos PVC plastificados (flexibles)..... | 5 |
| 1.2.6. Usos y funciones de la lámina PVC flexible..... | 6 |

| | |
|--|----|
| 1.2.7. Máquinas convertidoras de láminas..... | 7 |
| a. Cortadoras rebobinadoras. | 7 |
| b. De corte transversal..... | 7 |
| c. Resmadoras..... | 8 |
| 1.3. ESTUDIO DE MECANISMOS..... | 9 |
| 1.3.1. Criterios para diseño de máquinas | 9 |
| a. Factores de seguridad (<i>FS</i>). | 9 |
| b. Predicciones de falla. | 10 |
| 1.3.2. Análisis de elementos finitos (FEA) | 11 |
| 1.3.3. Ventajas del método de análisis por elementos finitos. | 12 |
| 1.3.4. SolidWorks..... | 13 |
| 1.3.5. Breve descripción de algunos componentes de máquinas. | 13 |
| a. Ejes..... | 13 |
| b. Cojinetes..... | 13 |
| b.1. Dimensionamiento de cojinetes. | 14 |
| c. Transmisiones por correas dentadas..... | 15 |
| d. Transmisiones por engranes rectos..... | 16 |
| e. Resortes..... | 17 |
| f. Sujetadores..... | 17 |
| 1.4. SISTEMA NEUMÁTICO..... | 18 |
| 1.4.1. Introducción a la neumática. | 18 |
| 1.4.2. Principios fundamentales del aire comprimido..... | 18 |
| 1.4.3. Ventajas del aire comprimido..... | 19 |
| 1.4.4. Inconvenientes del aire comprimido..... | 20 |
| 1.4.5. Estructura de los sistemas neumáticos..... | 20 |
| 1.4.6. Símbolos neumáticos..... | 20 |
| 1.4.7. Electroneumática. | 21 |
| 1.5. SENSORES Y ACTUADORES..... | 21 |
| 1.5.1. Sensor. | 21 |
| a. Clasificación de sensores según la variable física medida. | 22 |
| 1.5.2. Actuadores..... | 23 |
| a. Relés y contactores. | 23 |

| | | |
|--------|--|----|
| b. | Servo motores..... | 24 |
| 1.6. | FUNDAMENTOS DE PLC'S..... | 30 |
| 1.6.1. | Definición. | 30 |
| 1.6.2. | Campos de aplicación..... | 31 |
| a. | Maniobra de maquinas. | 31 |
| b. | Maniobra de instalaciones. | 31 |
| c. | Señalización y control. | 31 |
| 1.6.3. | Ventajas del PLC. | 31 |
| 1.7. | INTERFAZ HOMBRE MÁQUINA (HMI). | 32 |
| 1.7.1. | Generalidades..... | 32 |
| 1.7.2. | Definición. | 32 |
| 1.7.3. | Tipos de HMI..... | 33 |
| a. | Paneles de operación. | 33 |
| b. | Paneles táctiles..... | 34 |
| c. | Autómatas programables completos..... | 34 |
| d. | PC + Software..... | 35 |
| 1.7.4. | Funciones de un HMI..... | 35 |
| 1.7.5. | Criterios generales para la creación de un HMI. | 36 |

CAPÍTULO II.

DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES MECÁNICOS Y NEUMÁTICOS DE LA MÁQUINA.

| | | |
|--------|---|----|
| 2.1. | PARÁMETROS DE DISEÑO. | 37 |
| 2.2. | PLANTEAMIENTO Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS..... | 38 |
| 2.2.1. | Planteamiento y estudio de las alternativas. | 39 |
| a. | Sistemas de sujeción y desbobinado..... | 39 |
| b. | Sistemas de frenado de la bobina..... | 42 |
| c. | Sistema de guiado de la lámina PVC..... | 44 |
| d. | Sistemas de arrastre de la lámina PVC. | 44 |
| e. | Sistemas de corte longitudinal. | 46 |
| f. | Sistema de corte transversal..... | 47 |
| g. | Estructura soporte..... | 50 |

| | |
|---|----|
| 2.2.2. Parámetros y factores de incidencia para la valoración de alternativas..... | 50 |
| 2.2.3. Selección de alternativas..... | 51 |
| a. Selección del sistema de sujeción y desbobinado..... | 51 |
| b. Selección del sistema de frenado de la bobina..... | 51 |
| c. Selección del sistema de arrastre..... | 52 |
| d. Selección del sistema de corte longitudinal..... | 52 |
| e. Selección del sistema de corte transversal..... | 53 |
| 2.3. DISEÑO MECÁNICO..... | 53 |
| 2.3.1. Velocidad lineal de operación de la máquina..... | 54 |
| 2.3.2. Diseño del sistema de sujeción y desbobinado..... | 56 |
| a. Determinación de las cargas..... | 58 |
| b. Dimensionamiento y modelado de los componentes del mecanismo A..... | 58 |
| c. Simulación y análisis de esfuerzos del mecanismo A..... | 65 |
| d. Dimensionamiento y modelado de los componentes del mecanismo B..... | 69 |
| e. Simulación y análisis de esfuerzos del mecanismo B..... | 72 |
| 2.3.3. Diseño del sistema de frenado de la bobina..... | 75 |
| a. Determinación de cargas..... | 76 |
| b. Dimensionamiento y modelado de los componentes del sistema de frenado..... | 79 |
| c. Simulación y análisis de esfuerzos..... | 85 |
| 2.3.4. Diseño del sistema de guiado..... | 87 |
| a. Determinación de cargas..... | 87 |
| b. Modelado de los componentes de los rodillos guía..... | 89 |
| c. Simulación y análisis de esfuerzos..... | 90 |
| d. Selección de rodamientos..... | 91 |
| 2.3.5. Diseño del sistema de corte longitudinal..... | 92 |
| a. Determinación de cargas..... | 93 |
| b. Dimensionamiento y modelado de los componentes del sistema corte longitudinal..... | 93 |

| | | |
|---------|--|-----|
| c. | Simulación y análisis de esfuerzos. | 94 |
| d. | Selección de rodamientos..... | 96 |
| 2.3.6. | Diseño del sistema de arrastre. | 96 |
| a. | Determinación de cargas. | 97 |
| b. | Dimensionamiento y modelado de los componentes del sistema de arrastre. | 97 |
| c. | Simulación y análisis de esfuerzos. | 102 |
| d. | Selección de rodamientos..... | 104 |
| 2.3.7. | Diseño de la transmisión de potencia del sistema de arrastre..... | 105 |
| a. | Potencia requerida por el sistema de arrastre. | 105 |
| b. | Selección del tipo de motor..... | 107 |
| c. | Potencia del servo motor. | 107 |
| d. | Selección de la banda dentada..... | 107 |
| 2.3.8. | Diseño del sistema de corte transversal. | 110 |
| a. | Determinación de cargas. | 111 |
| b. | Modelado de los componentes del sistema de corte transversal. | 112 |
| c. | Simulación y análisis de esfuerzos. | 114 |
| 2.3.9. | Diseño de la transmisión de potencia del sistema de corte transversal. | 116 |
| a. | Actuador de cable..... | 116 |
| b. | Potencia requerida por el sistema de corte transversal. | 118 |
| c. | Selección del cable para el actuador. | 120 |
| d. | Selección del motor. | 121 |
| e. | Selección del reductor de velocidad. | 121 |
| 2.3.10. | Diseño de la estructura soporte. | 122 |
| a. | Determinación de cargas. | 122 |
| b. | Modelación de la estructura soporte..... | 123 |
| c. | Simulación y análisis de esfuerzos. | 123 |
| 2.4. | DISEÑO NEUMÁTICO..... | 126 |
| 2.4.1. | Descripción del sistema neumático..... | 126 |
| 2.4.2. | Dimensionamiento y selección de cilindros neumáticos. | 127 |

| | | |
|--------|--|-----|
| a. | Cilindro neumático - eje portacuchillas. | 127 |
| b. | Cilindros neumáticos - rodillo presor..... | 129 |
| c. | Cilindros neumáticos - pisador..... | 130 |
| 2.4.3. | Diseño del circuito neumático. | 131 |
| 2.4.4. | Simulación del circuito neumático..... | 131 |
| 2.4.5. | Selección de componentes adicionales para el circuito neumático. | 132 |
| a. | Selección de la unidad de mantenimiento (FRL). | 132 |
| b. | Selección del regulador de presión..... | 132 |
| c. | Selección de electroválvulas..... | 133 |
| d. | Selección de la válvula colizante. | 133 |
| e. | Selección de reguladores de caudal..... | 133 |
| f. | Selección de conectores..... | 134 |
| g. | Selección de la tubería de conexión. | 134 |

CAPÍTULO III.

DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES DEL SISTEMA ELÉCTRICO-ELECTRÓNICO DE LA MÁQUINA.

| | | |
|--------|--|-----|
| 3.1. | DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL DE LA MÁQUINA. | 135 |
| 3.1.1. | Selección de modos de operación de la máquina..... | 135 |
| a. | Control manual..... | 135 |
| b. | Control automático..... | 135 |
| 3.1.2. | Diseño del circuito eléctrico de mando. | 136 |
| 3.1.3. | Diseño del panel de control..... | 136 |
| 3.2. | DISEÑO DEL SISTEMA DE POTENCIA DE LA MÁQUINA. | 137 |
| 3.2.1. | Diseño del circuito de fuerza..... | 137 |
| 3.2.2. | Diseño del tablero eléctrico..... | 138 |
| 3.3. | SELECCIÓN DE COMPONENTES DEL SISTEMA DE CONTROL DE LA MÁQUINA. | 138 |
| 3.3.1. | Selección de luces indicadoras..... | 139 |
| 3.3.2. | Selección de pulsadores..... | 139 |
| 3.3.3. | Selección del selector. | 140 |
| 3.3.4. | Selección del selector de llave..... | 140 |

| | |
|--|-----|
| 3.3.5. Selección del pulsador de paro de emergencia. | 141 |
| 3.3.6. Selección del panel operador..... | 142 |
| 3.3.7. Selección de sensor..... | 142 |
| 3.4. SELECCIÓN DE COMPONENTES DEL TABLERO ELÉCTRICO DE LA MÁQUINA. | 143 |
| 3.4.1. Selección del PLC..... | 143 |
| 3.4.2. Selección del variador de frecuencia. | 144 |
| 3.4.3. Relés..... | 145 |
| 3.4.4. Selección del contactor. | 146 |
| 3.4.5. Selección protecciones | 147 |
| a. Selección de la protección al circuito derivado del servo motor. | 147 |
| b. Selección de la protección al circuito derivado del motorreductor..... | 147 |
| c. Selección de la protección del alimentador..... | 147 |
| 3.4.6. Selección de conductores eléctricos | 148 |
| a. Conductores eléctricos para circuitos derivados..... | 148 |
| b. Conductores eléctricos para el alimentador..... | 149 |
| c. Conductores eléctricos para el circuito de control..... | 149 |

CAPÍTULO IV.

CONSTRUCCIÓN DE LA MÁQUINA.

| | |
|--|-----|
| 4.1. PLANOS CONSTRUCTIVOS. | 150 |
| 4.2. CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DE LOS COMPONENTES MECÁNICOS. | 150 |
| 4.2.1. Construcción de la estructura soporte. | 151 |
| 4.2.2. Construcción y montaje del sistema de sujeción y desbobinado. ... | 154 |
| a. Construcción del mecanismo A..... | 154 |
| b. Construcción del mecanismo B..... | 155 |
| 4.2.3. Construcción y montaje del sistema de frenado. | 156 |
| 4.2.4. Construcción de los rodillos guía. | 157 |
| 4.2.5. Construcción y montaje del sistema de corte longitudinal. | 158 |
| 4.2.6. Construcción del sistema de arrastre..... | 159 |

| | | |
|--------|---|-----|
| a. | Construcción de los rodillos de arrastre..... | 159 |
| b. | Construcción de las placas base..... | 160 |
| c. | Construcción de las guías T..... | 161 |
| d. | Construcción de la base del servo motor..... | 161 |
| 4.2.7. | Construcción y montaje del sistema de corte transversal..... | 162 |
| a. | Construcción y montaje de la mesa de fijación..... | 162 |
| b. | Construcción y montaje del pisador..... | 163 |
| c. | Construcción y montaje del portacuchilla..... | 163 |
| d. | Construcción y montaje de la guía lineal..... | 164 |
| 4.2.8. | Construcción y montaje de la transmisión de potencia al sistema de corte transversal..... | 165 |
| 4.2.9. | Recubrimiento y pintura..... | 166 |
| 4.3. | IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA NEUMÁTICO..... | 166 |
| 4.3.1. | Instalación de la unidad de mantenimiento..... | 166 |
| 4.3.2. | Instalación de electroválvulas..... | 167 |
| 4.3.3. | Instalación de actuadores neumáticos..... | 167 |
| a. | Disposición del cilindro neumático del eje portacuchillas..... | 167 |
| b. | Disposición de cilindros neumáticos del rodillo presor..... | 168 |
| c. | Disposición de cilindros neumáticos del pisador..... | 168 |
| 4.3.4. | Conexión de equipos neumáticos..... | 169 |
| 4.4. | CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y DE CONTROL..... | 169 |
| 4.4.1. | Construcción y montaje del tablero de mando..... | 169 |
| 4.4.2. | Montaje e instalación del tablero eléctrico..... | 170 |
| a. | Montaje de las canaletas, riel DIN y borneras..... | 170 |
| b. | Montaje de Breakers..... | 170 |
| c. | Montaje de contactores y relés..... | 171 |
| d. | Montaje de sensores inductivos..... | 171 |
| e. | Montaje del servo motor..... | 171 |
| f. | Montaje del servo drive..... | 172 |
| g. | Conexiones del servo drive..... | 172 |
| g.1. | Conexión servo drive - alimentación de energía..... | 174 |

| | | |
|--------|---|-----|
| g.2. | Conexión servo drive - encoder del servo motor..... | 174 |
| g.3. | Conexión servo drive - servo motor. | 174 |
| g.4. | Conexión servo drive – PLC. | 175 |
| h. | Conexión del motorreductor..... | 176 |
| 4.5. | PROGRAMACIÓN DEL PLC. | 178 |
| 4.5.1. | Diagrama funcional de la máquina..... | 179 |
| 4.5.2. | Reconocimiento de señales. | 179 |
| a. | Señales de entrada..... | 179 |
| b. | Señales de salida..... | 180 |
| 4.5.3. | Conexión del PLC. | 181 |
| 4.5.4. | Software de programación..... | 182 |
| 4.6. | DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA HMI. | 183 |
| 4.6.1. | Configuración del software..... | 183 |
| 4.6.2. | Programación del panel operador..... | 184 |
| a. | Pantalla N ° 1..... | 184 |
| b. | Pantalla N ° 2..... | 185 |
| c. | Pantalla N ° 3..... | 186 |

CAPÍTULO V.

PRUEBAS Y RESULTADOS.

| | | |
|--------|---|-----|
| 5.1. | PRUEBAS DEL SISTEMA MECÁNICO DE LA MÁQUINA..... | 187 |
| 5.1.1. | Prueba de colinealidad - sistema de sujeción y desbobinado..... | 187 |
| 5.1.2. | Calibración del sistema de frenado..... | 188 |
| 5.1.3. | Pruebas del sistema de guiado..... | 188 |
| 5.1.4. | Pruebas en el sistema de corte longitudinal..... | 189 |
| 5.1.5. | Pruebas del sistema de arrastre. | 190 |
| 5.1.6. | Pruebas del sistema se corte transversal. | 191 |
| 5.2. | PRUEBAS DEL SISTEMA NEUMÁTICO DE LA MÁQUINA..... | 191 |
| 5.2.1. | Regulación de velocidad del cilindro neumático del eje portacuchillas..... | 191 |
| 5.2.2. | Regulación de velocidad de los cilindros neumáticos del rodillo presor. | 192 |

| | |
|---|-----|
| 5.2.3. Regulación de velocidad de los cilindros neumáticos del pisador..... | 192 |
| 5.3. PRUEBAS DEL SISTEMA ELÉCTRICO - ELECTRÓNICO DE LA MÁQUINA..... | 193 |
| 5.3.1. Revisión de conexiones en el tablero de mando..... | 193 |
| 5.3.2. Revisión de conexiones en el tablero eléctrico..... | 193 |
| 5.3.3. Comunicación PLC - OP-320..... | 194 |
| 5.3.4. Comunicación PLC - servo drive..... | 194 |
| 5.3.5. Funcionamiento del servo motor..... | 196 |
| 5.3.6. Funcionamiento del panel de operación..... | 196 |
| 5.3.7. Monitoreo del PLC..... | 197 |
| 5.4. FUNCIONAMIENTO COMPLETO DE LA MÁQUINA..... | 197 |
| 5.4.1. Comprobación de la velocidad de corte..... | 197 |
| 5.4.2. Comprobación de las medidas de corte..... | 198 |
| 5.5. ELABORACIÓN DEL MANUAL DE OPERACIÓN Y PLAN DE MANTENIMIENTO DE LA MÁQUINA..... | 200 |

CAPÍTULO VI.

ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO.

| | |
|---|-----|
| 6.1. COSTO TOTAL DE LA MÁQUINA..... | 201 |
| 6.1.1. Costos del sistema eléctrico y de control..... | 202 |
| 6.1.2. Costos del sistema neumático..... | 202 |
| 6.1.3. Costos del sistema mecánico..... | 203 |
| 6.2. INVERSIÓN INICIAL..... | 204 |
| 6.3. FLUJOS DE CAJA..... | 205 |
| 6.4. VALOR ACTUAL NETO (VAN)..... | 206 |
| 6.5. TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)..... | 207 |
| 6.6. PERIODO DE RECUPERACIÓN DEL CAPITAL (PRC)..... | 208 |
| 6.7. RELACIÓN BENEFICIO - COSTO (RBC)..... | 208 |
| 6.8. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS..... | 208 |

CAPÍTULO VII.**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

| | |
|----------------------------------|-----|
| 7.1. CONCLUSIONES. | 210 |
| 7.2. RECOMENDACIONES. | 211 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS. | 212 |
| ANEXOS. | 214 |

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I.

| | |
|--|----|
| Figura 1.1 Artículos de la línea escolar..... | 2 |
| Figura 1.2 Etapas de fabricación de productos en film PVC..... | 2 |
| Figura 1.3 Corte transversal de las láminas PVC. | 3 |
| Figura 1.4 Corte longitudinal del bloque de láminas PVC..... | 4 |
| Figura 1.5 Máquina cortadora rebobinadora..... | 7 |
| Figura 1.6 Máquina de corte transversal..... | 8 |
| Figura 1.7 Máquina Resmadora..... | 8 |
| Figura 1.8 Transmisión por correas dentadas. | 15 |
| Figura 1.9 Transmisión por engranes rectos. | 16 |
| Figura 1.10 Extremos en resortes helicoidales de compresión..... | 17 |
| Figura 1.11 Sensor de proximidad inductivo..... | 21 |
| Figura 1.12 Componentes básicos de un sensor..... | 22 |
| Figura 1.13 Contactor. | 24 |
| Figura 1.14 GSK Servo motores Brushless. | 24 |
| Figura 1.15 Curva par – velocidad de un servo motor. | 25 |
| Figura 1.16 Partes de un servo motor brushless. | 26 |
| Figura 1.17 GSK AC Servo drive DA98B Series..... | 27 |
| Figura 1.18 Sistema de control de una servo unidad..... | 28 |
| Figura 1.19 Máquinas para corte de lámina..... | 29 |
| Figura 1.20 Micro PLC SIMATIC S7-1200. | 30 |
| Figura 1.21 Entorno HMI (Dialogo Hombre - Máquina)..... | 33 |
| Figura 1.22 Paneles de operación SIMATIC Series 70..... | 33 |
| Figura 1.23 Paneles táctiles SIMATIC series 170..... | 34 |
| Figura 1.24 PLC Completo SIMATIC C7 - 636 TOUCH..... | 35 |

CAPÍTULO II.

| | |
|---|----|
| Figura 2.1 Dimensiones de las bobinas de PVC..... | 38 |
| Figura 2.2 Sujeción y desbobinado por ejes neumáticos expansibles. | 39 |
| Figura 2.3 Sistema de sujeción y desbobinado por conos colineales..... | 40 |
| Figura 2.4 Sistema de sujeción y desbobinado por ejes en voladizo. | 41 |
| Figura 2.5 Sistema de frenado de banda..... | 42 |

| | |
|---|----|
| Figura 2.6 Sistema de frenado de disco de zapata circular. | 43 |
| Figura 2.7 Sistema de frenado por contrapesos. | 43 |
| Figura 2.8 Sistema de guiado mediante rodillos. | 44 |
| Figura 2.9 Sistema de arrastre mediante rodillos vulcanizados. | 45 |
| Figura 2.10 Sistema de arrastre mediante bandas transportadoras. | 45 |
| Figura 2.11 Sistema de corte por cuchillas planas. | 46 |
| Figura 2.12 Sistema de corte por cuchillas circulares a presión. | 46 |
| Figura 2.13 Sistema de corte por cuchillas circulares a tijera. | 47 |
| Figura 2.14 Sistema de corte por cizalla. | 48 |
| Figura 2.15 Sistema de corte por cizalla rotativa. | 49 |
| Figura 2.16 Inclinação de la cuchilla en el tambor portacuchillas. | 49 |
| Figura 2.17 Sistema de corte por cuchilla con filo tipo V. | 50 |
| Figura 2.18 Montaje de la bobina en los mecanismos del sistema. | 56 |
| Figura 2.19 Mecanismo A - sistema de sujeción y desbobinado. | 57 |
| Figura 2.20 Mecanismo B - sistema de sujeción y desbobinado. | 57 |
| Figura 2.21 Cono - mecanismo A. | 59 |
| Figura 2.22 Tambor giratorio. | 59 |
| Figura 2.23 Diagrama de cargas en el Eje - mecanismo A. | 59 |
| Figura 2.24 Tensiones de Von Mises Eje - mecanismo A. | 62 |
| Figura 2.25. Factor de Seguridad Eje - mecanismo A. | 62 |
| Figura 2.26 Casquillos - mecanismo A. | 64 |
| Figura 2.27 Base y apoyo - mecanismo A. | 65 |
| Figura 2.28 Ensamble mecanismo A. | 65 |
| Figura 2.29 Asignación de cargas y restricciones - mecanismo A. | 66 |
| Figura 2.30 Mallado - mecanismo A. | 67 |
| Figura 2.31 Tensiones de Von Mises - mecanismo A. | 67 |
| Figura 2.32 Distribución del Factor de Seguridad - mecanismo A. | 68 |
| Figura 2.33 Desplazamientos resultantes - mecanismo A. | 68 |
| Figura 2.34 Diagrama de cargas en el tornillo. | 69 |
| Figura 2.35 Modelación del tornillo. | 70 |
| Figura 2.36 Cono - mecanismo B. | 71 |
| Figura 2.37 Modelación de la tuerca y contratuerca. | 71 |

| | |
|--|----|
| Figura 2.38 Modelación de la manivela y acople. | 71 |
| Figura 2.39 Modelación de la base y apoyo - mecanismo B..... | 72 |
| Figura 2.40 Ensamble mecanismo B. | 72 |
| Figura 2.41 Asignación de cargas y restricciones - mecanismo B..... | 73 |
| Figura 2.42 Mallado - mecanismo B. | 74 |
| Figura 2.43 Tensiones de Von Mises - mecanismo B..... | 74 |
| Figura 2.44. Factor de Seguridad - mecanismo B..... | 75 |
| Figura 2.45 Desplazamientos resultantes - mecanismo B. | 75 |
| Figura 2.46 Sistema de frenado de la bobina. | 76 |
| Figura 2.47 Posición de la zapata en el plato fijo..... | 79 |
| Figura 2.48 Modelación del plato fijo y placa de empuje. | 80 |
| Figura 2.49 Resorte helicoidal de compresión..... | 83 |
| Figura 2.50. Modelación del pin y soporte resorte. | 83 |
| Figura 2.51 Modelación del tornillo regulador. | 84 |
| Figura 2.52 Modelación de las guías y soportes laterales. | 84 |
| Figura 2.53 Modelación del ángulo soporte..... | 84 |
| Figura 2.54 Ensamble - sistema de frenado. | 85 |
| Figura 2.55 Asignación de cargas y restricciones - sistema de frenado. | 86 |
| Figura 2.56. Configuración de rodillos guía. | 87 |
| Figura 2.57 Distribución de fuerzas en el sistema de guiado..... | 88 |
| Figura 2.58 Tubo - rodillos guía. | 89 |
| Figura 2.59. Eje lateral..... | 89 |
| Figura 2.60 Ensamble del rodillo guía..... | 90 |
| Figura 2.61 Asignación de cargas y restricciones - rodillo guía..... | 90 |
| Figura 2.62 Sistema de corte longitudinal..... | 92 |
| Figura 2.63 Funcionamiento del sistema de corte longitudinal. | 92 |
| Figura 2.64 Portacuchillas. | 93 |
| Figura 2.65 Elemento de acople. | 93 |
| Figura 2.66 Detalle de ranura en el eje portacuchillas..... | 94 |
| Figura 2.67 Ensamble - sistema de corte longitudinal. | 94 |
| Figura 2.68 Asignación de cargas y restricciones - sistema de corte longitudinal..... | 95 |

| | |
|---|-----|
| Figura 2.69 Sistema de arrastre..... | 96 |
| Figura 2.70 Modelación - rodillo presor..... | 97 |
| Figura 2.71 Modelación - eje del rodillo presor. | 98 |
| Figura 2.72 Modelación de la brida..... | 98 |
| Figura 2.73 Modelación - guía T. | 98 |
| Figura 2.74 Modelación - rodillo tractor..... | 99 |
| Figura 2.75 Modelación - eje del rodillo tractor. | 99 |
| Figura 2.76 Diagrama de cuerpo libre - sistema de arrastre..... | 100 |
| Figura 2.77 Modelación - placa base. | 101 |
| Figura 2.78 Modelación - engrane. | 101 |
| Figura 2.79 Ensamble - sistema de arrastre. | 102 |
| Figura 2.80 Asignación de Cargas y restricciones - sistema de arrastre. ... | 103 |
| Figura 2.81 Fuerza de corte ejercida en la lámina PVC..... | 106 |
| Figura 2.82 Transmisión de potencia al sistema de arrastre. | 108 |
| Figura 2.83 Modelado de la cuchilla de corte. | 110 |
| Figura 2.84 Sistema de corte transversal. | 111 |
| Figura 2.85 Portacuchilla. | 112 |
| Figura 2.86 Guía lineal..... | 113 |
| Figura 2.87 Pisador..... | 113 |
| Figura 2.88 Mesa de fijación..... | 114 |
| Figura 2.89 Ensamble - Guía lineal y mesa de fijación. | 114 |
| Figura 2.90 Cargas y restricciones - Sistema de corte transversal. | 115 |
| Figura 2.91 Actuador de cable..... | 116 |
| Figura 2.92 Ensamble - Motorreductor. | 117 |
| Figura 2.93 Mecanismo tensor..... | 117 |
| Figura 2.94 Diagrama de cuerpo libre - portacuchilla. | 119 |
| Figura 2.95 Estructura soporte..... | 123 |
| Figura 2.96 Asignación de cargas y restricciones - estructura soporte..... | 124 |
| Figura 2.97 Ensamble - máquina cortadora (Imagen frontal)..... | 125 |
| Figura 2.98 Ensamble - máquina cortadora (Imagen posterior)..... | 125 |
| Figura 2.99 Fuerza requerida por el eje portacuchillas. | 128 |
| Figura 2.100 Circuito neumático de la máquina..... | 131 |

| | |
|--|-----|
| Figura 2.101 Simulación del circuito neumático de la máquina. | 132 |
|--|-----|

CAPÍTULO III.

| | |
|--|-----|
| Figura 3.1 Panel de mando..... | 136 |
| Figura 3.2 Tablero eléctrico de la máquina..... | 138 |
| Figura 3.3 Luz piloto CAMSCO..... | 139 |
| Figura 3.4 Pulsador CAMSCO..... | 140 |
| Figura 3.5 Selector de tres posiciones CAMSCO..... | 140 |
| Figura 3.6 Selector de llave CAMSCO..... | 141 |
| Figura 3.7 Pulsador tipo hongo CAMSCO..... | 141 |
| Figura 3.8 Panel operador OP-320 XINJE..... | 142 |
| Figura 3.9 Sensor inductivo..... | 143 |
| Figura 3.10 PLC XC3-32RT-E XINJE..... | 144 |
| Figura 3.11 Variador de frecuencia VB3-20P4..... | 145 |
| Figura 3.12 Relé CAMSCO..... | 146 |
| Figura 3.13 Contactor GMC-9..... | 146 |

CAPÍTULO IV.

| | |
|--|-----|
| Figura 4.1 Construcción de la estructura soporte..... | 151 |
| Figura 4.2 Formato WPS - estructura soporte..... | 153 |
| Figura 4.3 Estructura soporte terminada..... | 153 |
| Figura 4.4 Pintura - estructura soporte..... | 154 |
| Figura 4.5 Montaje del cono y el eje del mecanismo A..... | 154 |
| Figura 4.6 Ensamblaje de la base y el apoyo del mecanismo A..... | 155 |
| Figura 4.7 Montaje del mecanismo A sobre la estructura soporte..... | 155 |
| Figura 4.8 Construcción del cono del mecanismo B..... | 155 |
| Figura 4.9 Mecanizado del tornillo..... | 156 |
| Figura 4.10 Montaje del mecanismo B en la estructura soporte..... | 156 |
| Figura 4.11 Montaje del sistema de frenado..... | 156 |
| Figura 4.12 Tubos de rodillos guía..... | 157 |
| Figura 4.13 Tapas y ejes laterales de los rodillos guía..... | 157 |
| Figura 4.14 Rodillos guía terminados..... | 158 |
| Figura 4.15 Pintura de rodillos guías..... | 158 |
| Figura 4.16 Construcción de la primera parte del portacuchillas..... | 158 |

| | |
|--|-----|
| Figura 4.17 Construcción de las bases de los portacuchillas. | 159 |
| Figura 4.18 Montaje de los portacuchillas..... | 159 |
| Figura 4.19 Montaje de los rodillos del sistema de arrastre..... | 160 |
| Figura 4.20 Montaje de placas base..... | 160 |
| Figura 4.21 Construcción de las guías T..... | 161 |
| Figura 4.22 Montaje de las guías T..... | 161 |
| Figura 4.23 Construcción de la base del servo motor..... | 162 |
| Figura 4.24 Construcción de mesa de fijación..... | 162 |
| Figura 4.25 Montaje de la mesa fijación..... | 162 |
| Figura 4.26 Construcción del pisador..... | 163 |
| Figura 4.27 Acoplamiento entre la mesa de fijación y el pisador..... | 163 |
| Figura 4.28 Construcción del portacuchilla..... | 164 |
| Figura 4.29 Montaje del portacuchilla..... | 164 |
| Figura 4.30 Montaje de la guía lineal..... | 165 |
| Figura 4.31 Montaje del ensamble motorreductor..... | 165 |
| Figura 4.32 Montaje del mecanismo tensor..... | 166 |
| Figura 4.33 Cubierta y pintura..... | 166 |
| Figura 4.34 Montaje de la unida de mantenimiento..... | 167 |
| Figura 4.35 Montaje de electroválvulas..... | 167 |
| Figura 4.36 Montaje del cilindro neumático del eje portacuchillas..... | 168 |
| Figura 4.37 Montaje del los cilindros neumáticos del rodillo presor..... | 168 |
| Figura 4.38 Montaje del los cilindros neumáticos del pisador..... | 169 |
| Figura 4.39 Conexión de elementos neumáticos..... | 169 |
| Figura 4.40 Construcción y montaje del tablero de mando..... | 170 |
| Figura 4.41 Disposición de elementos en el tablero eléctrico..... | 170 |
| Figura 4.42 Instalación de breakers..... | 170 |
| Figura 4.43 Instalación de relés y contactores..... | 171 |
| Figura 4.44 Instalación de sensores inductivos..... | 171 |
| Figura 4.45 Montaje del servo motor..... | 172 |
| Figura 4.46 Montaje del servo drive..... | 172 |
| Figura 4.47 Diagrama esquemático de conexión del servo drive GSK DA98B..... | 172 |

| | |
|--|-----|
| Figura 4.48 Diagrama de bloque interior del servo drive. | 173 |
| Figura 4.49 Cable de conexión servo drive - encoder del servo motor. | 174 |
| Figura 4.50 Cable de fuerza para la conexión servo drive - servo motor. | 174 |
| Figura 4.51 Cable de comunicación PLC - Servo drive. | 175 |
| Figura 4.52 Conexión interna del cable PLC - servo drive. | 175 |
| Figura 4.53 Conexión PLC - servo drive. | 176 |
| Figura 4.54 Instalación de resistencias de 1.8 K Ω | 176 |
| Figura 4.55 Diagrama de instalación del variador de frecuencia. | 177 |
| Figura 4.56 Instalación del variador de frecuencia. | 177 |
| Figura 4.57 Conexión al motorreductor. | 178 |
| Figura 4.58 Instalación completa del tablero eléctrico. | 178 |
| Figura 4.59 Diagrama funcional de la máquina. | 179 |
| Figura 4.60 Conexión del PLC. | 181 |
| Figura 4.61 Pantalla inicial del programa XCP Pro V3.3C. | 182 |
| Figura 4.62 Cable de programación PLC - PC. | 182 |
| Figura 4.63 Software OP20 Edit Tool. | 183 |
| Figura 4.64 Pantalla de inicio del software OP20 Edit Tool. | 183 |
| Figura 4.65 Selección del panel de operación. | 184 |
| Figura 4.66 Selección del PLC. | 184 |
| Figura 4.67 Pantalla de presentación. | 185 |
| Figura 4.68 Pantalla - Velocidad/Tiempos. | 185 |
| Figura 4.69 Pantalla - Medida/#Cortes. | 186 |
| CAPÍTULO V. | |
| Figura 5.1 Verificación del sistema de sujeción y desbobinado. | 187 |
| Figura 5.2 Calibración del sistema de frenado. | 188 |
| Figura 5.3 Calibración del sistema de guiado. | 189 |
| Figura 5.4 Verificación de penetración de las cuchillas. | 189 |
| Figura 5.5 Regulación de la longitud del vástago. | 190 |
| Figura 5.6 Inspección visual a los engranes. | 190 |
| Figura 5.7 Reducción de la longitud de los resortes. | 191 |
| Figura 5.8 Calibración del cilindro neumático del eje portacuchillas. | 192 |
| Figura 5.9 Calibración de cilindros neumáticos del rodillo presor. | 192 |

| | |
|---|-----|
| Figura 5.10 Calibración de los cilindros neumáticos del pisador..... | 193 |
| Figura 5.11 Verificación de conexión del tablero de mando - PLC. | 193 |
| Figura 5.12 Verificación de conexiones del tablero eléctrico. | 194 |
| Figura 5.13 Cable de conexión PLC - Panel de operación. | 194 |
| Figura 5.14 Cable de comunicación PLC - servo drive. | 195 |
| Figura 5.15 Construcción de la puesta a tierra. | 195 |
| Figura 5.16 Verificación del funcionamiento del servo motor..... | 196 |
| Figura 5.17 Verificación del funcionamiento del OP-320. | 197 |
| Figura 5.18 Monitoreo del PLC. | 197 |
| Figura 5.19 Velocidad de corte. | 198 |
| Figura 5.20 Medidas de cortes realizados (Primera prueba). | 199 |
| Figura 5.21 Medida de cortes (Segunda prueba)..... | 199 |

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO I.

| | |
|---|----|
| Tabla 1.1 Métodos de predicción de falla. | 10 |
| Tabla 1.2 Comparación entre los principales tipos de rodamientos. | 14 |
| Tabla 1.3 Grados métricos de aceros para pernos. | 18 |
| Tabla 1.4 Clasificación de sensores según la variable física medida. | 22 |
| Tabla 1.5 Variables físicas que se pueden medir con sensores basados en distintos principios de funcionamiento. | 23 |

CAPÍTULO II.

| | |
|--|-----|
| Tabla 2.1 Parámetros y factores de incidencia. | 50 |
| Tabla 2.2 Selección del sistema de sujeción y desbobinado. | 51 |
| Tabla 2.3 Selección del sistema de frenado de la bobina. | 52 |
| Tabla 2.4 Selección del sistema de arrastre. | 52 |
| Tabla 2.5 Selección del sistema de corte longitudinal. | 53 |
| Tabla 2.6 Selección del sistema de corte transversal. | 53 |
| Tabla 2.7 Materiales asignados a componentes del mecanismo A. | 66 |
| Tabla 2.8 Materiales asignados a componentes del mecanismo B. | 73 |
| Tabla 2.9 Inercias del sistema de desbobinado. | 77 |
| Tabla 2.10 Materiales asignados a componentes del sistema de frenado. | 85 |
| Tabla 2.11 Materiales asignados a componentes del rodillo guía. | 90 |
| Tabla 2.12 Materiales asignados a componentes del sistema de corte longitudinal. | 95 |
| Tabla 2.13 Especificaciones de engranes del sistema de arrastre. | 101 |
| Tabla 2.14 Materiales asignados al sistema de arrastre. | 102 |
| Tabla 2.15 Materiales asignados a la guía lineal. | 115 |
| Tabla 2.16 Materiales asignados a la mesa de fijación. | 115 |
| Tabla 2.17 Cable de acero inoxidable AISI 304 7x19 Extra - Flexible. | 121 |
| Tabla 2.18 Reacciones en zonas de apoyo. | 122 |
| Tabla 2.19 Cilindro neumático MCQI-11-32-60M-CDB. | 129 |
| Tabla 2.20 Cilindros neumáticos MCQI-11-32-30M-FAC. | 130 |
| Tabla 2.21 Cilindros neumáticos MCMI-11-16-25. | 131 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 2.22 Selección de reguladores de caudal. | 134 |
| Tabla 2.23 Selección de conectores. | 134 |

CAPÍTULO III.

| | |
|---|-----|
| Tabla 3.1 Elementos del panel de control. | 137 |
| Tabla 3.2 Elementos del tablero eléctrico. | 138 |
| Tabla 3.3 Características de luces pilotos. | 139 |
| Tabla 3.4 Características de pulsadores. | 139 |
| Tabla 3.5 Características del selector. | 140 |
| Tabla 3.6 Características del selector de llave. | 141 |
| Tabla 3.7 Características del pulsador tipo hongo. | 141 |
| Tabla 3.8 Características del panel operador. | 142 |
| Tabla 3.9 Características del sensor inductivo. | 143 |
| Tabla 3.10 Características del PLC XC3-32RT-E. | 144 |
| Tabla 3.11 Características del relé de AC. | 145 |
| Tabla 3.12 Características del relé de DC. | 145 |
| Tabla 3.13 Características del contactor. | 146 |

CAPÍTULO IV.

| | |
|---|-----|
| Tabla 4.1 Descripción de las señales de entrada. | 180 |
| Tabla 4.2 Descripción de las señales de salida. | 181 |

CAPÍTULO VI.

| | |
|--|-----|
| Tabla 6.1 Costos del sistema eléctrico y de control. | 202 |
| Tabla 6.2 Costos del sistema neumático. | 203 |
| Tabla 6.3 Costos generales del sistema mecánico. | 204 |
| Tabla 6.4 Costo total de materiales directos de la máquina. | 204 |
| Tabla 6.5 Costo total de mano de obra directa. | 204 |
| Tabla 6.6 Costo total de la máquina (Inversión inicial). | 205 |
| Tabla 6.7 Inversión año 1 proyectada de la máquina. | 205 |
| Tabla 6.8 Flujos de caja proyectados para 5 años. | 206 |

RESUMEN

El presente proyecto contempla el diseño y construcción de una máquina cortadora de láminas de plástico PVC utilizadas para la fabricación de diferentes tipos de estuches. Con la finalidad de incrementar la producción y mejorar la calidad del producto final se implementó un sistema de corte automatizado acorde a los adelantos tecnológicos actuales. En el diseño de los componentes del sistema mecánico se empleó el software SolidWorks Simulation, el cual utiliza técnicas de análisis por elementos finitos, en efecto, se comprobó que todos los componentes alcancen un adecuado Factor de Seguridad, lo cual asegura que no fallen al someterlos a cargas específicas. Los actuadores neumáticos se dimensionaron de acuerdo con las cargas determinadas a partir de un estudio de movimiento en SolidWorks Motion, también se dimensionaron y seleccionaron elementos de alimentación, entrada, procesamiento y maniobra. También el circuito neumático fue simulado en el software Festo FluidSIM V3.6. El sistema eléctrico - electrónico de la máquina incorpora todos los dispositivos que permiten comandar la secuencia de activación de las electroválvulas, el servo motor y el motorreductor. También se implementó una Interface Hombre Máquina (HMI) para establecer el dialogo entre el operador y el proceso lo cual proporciona una representación visual del sistema de control y permite una adquisición de datos en tiempo real. Por ultimo se realizó un análisis económico, el cual muestra una valoración de la inversión económica comparada con los beneficios obtenidos por la construcción y utilidad de la máquina.

Palabras clave: Corte automatizado de láminas de plástico, Maquinaria industrial, Plástico PVC, Máquina - sistema eléctrico y electrónico.

SUMMARY

This project involves the design and construction of a PVC plastic sheet cutting Machine used for the manufacture of different kinds of plastic cases. In order to increase the rate of production and improve product quality, an automated cutting system was implemented according to the latest technological advances. All components of the mechanical system were designed using SolidWorks Simulation, which uses Finite Element Analysis Methods; in fact an adequate safety factor in all components was verified, which ensure an appropriate operation of the machine. The pneumatic actuators were sized according to the loads calculated by SolidWorks Motion, then the pneumatic system was simulated in Festo FluidSIM V3.6. The machine's electrical - electronic system incorporates all devices that command the activation sequence of the solenoids, the servo motor and the geared motor. Also a Human Machine Interface was implemented to establish the dialogue between the operator and the process, which provides a visual representation of the control system and allows real-time data acquisition. Finally, an economic analysis was performed, which shows an assessment of the economic investment compared to the benefits obtained by the construction and use of the machine.

Key words: Industrial machinery, Automatic plastic film cutting machine, PVC plastic, Machine - electrical and electronic system.

INTRODUCCIÓN

Con el avanzar de la tecnología varias industrias han optado por desarrollar nuevos métodos que les permitan elevar su producción y al mismo tiempo ser más competitivos relacionando al proceso con el operario por medio de un control visual, es decir les permitan monitorear y controlar parámetros.

Gracias a estas técnicas se han disminuido costos y tiempos de producción que a su vez han contribuido a la mejora de la calidad y la productividad dentro del sector industrial en el Ecuador.

La automatización dentro del campo de la producción industrial, ha pasado de ser una herramienta de trabajo deseable a una herramienta indispensable para competir en este mercado globalizado.

JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

La construcción de una máquina de corte longitudinal y transversal de láminas de plástico PVC es de suma importancia ya que se automatizará un proceso que se realiza en forma manual en la industria.

Otro aspecto relevante es que con la fabricación de dicha máquina se disminuirá tanto el tiempo como el costo en la elaboración de estuches de los juegos geométricos. Además el proyecto resulta trascendental debido a que con su implementación se elevará la producción y se mejorará la calidad del producto.

Un factor importante que justifica el realizar este proyecto es que el corte de plástico PVC al ser un proceso manual no se lo realiza con la precisión debida, por lo que se desperdicia la materia prima, con la ayuda de la máquina cortadora se logrará un corte con mayor exactitud reduciendo así las pérdidas de material.

También el corte de plástico PVC lo realizan las personas más experimentadas de la industria, debido a que es un proceso que presenta un cierto grado de complejidad, y no lo pueden realizar las personas que son nuevas en este campo y si lo realizan implica una gran cantidad de materia prima dañada debido a su inexperiencia, con la ayuda de la máquina cortadora evitaremos este tipo de problemas.

OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir una máquina de corte longitudinal y transversal de láminas de plástico PVC de hasta 250 micras de espesor con un sistema HMI para la Industria Plástica Brother's.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilar la información necesaria acorde a los requerimientos del proyecto.
- Diseñar y seleccionar los elementos constitutivos de los sistemas de la máquina.
- Construir y montar el sistema mecánico y neumático de la máquina.
- Implementar el sistema de control del proceso con el PLC.
- Configurar la interface para implementar el sistema HMI.
- Elaborar el manual de operación y el plan de mantenimiento de la máquina.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO.

1.1. ANTECEDENTES.

1.1.1. Industria Plástica Brother´s.

La Industria Plástica Brother´s es una prestigiosa empresa ecuatoriana dedicada a la elaboración y comercialización de una amplia variedad de artículos en plástico.

Desde su creación, la empresa ha aplicado políticas innovadoras con apertura a nuevas tecnologías y ágil adaptabilidad al cambio, lo que ha permitido garantizar un excelente servicio a sus clientes con productos de calidad certificada.

1.1.2. Infraestructura.

Ante las exigencias del mercado y el firme compromiso por satisfacer las necesidades y expectativas de los clientes, la empresa cuenta con una planta de producción ubicada en la ciudad de Ambato, la cual ofrece todas las garantías para una producción continua, sin afectar a la ciudad con contaminación de ruido o desechos sólidos, colaborando con las demás empresas del sector y en cumplimiento de las normativas de la municipalidad.

Consolidada como una empresa especialista en la fabricación de artículos en plástico cuenta con diversos tipos de maquinaria para cada proceso de producción tales como: máquinas de inyección, soplado, sellado por ultrasonido y estampado.

1.1.3. Producción de artículos de la línea escolar.

Con referencia a los artículos de la línea escolar, la Industria Plástica Brother´s es fabricante de las marcas APOLO y KAYSER, las cuales son sinónimo de calidad y garantía en el Ecuador. Entre los artículos elaborados en esta división tenemos a:

- Forros, protectores de hojas y estuches de plástico PVC.
- Juegos geométricos.
- Reglas.
- Graduadores.
- Escuadras 45° y 60°.
- Curvígrafos, etc.

En la Figura 1.1 se puede visualizar algunos artículos de la línea escolar fabricados en la Industria Plástica Brother's.



Figura 1.1 Artículos de la línea escolar.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

1.1.4. Fabricación de productos en film PVC.

El proceso de fabricación de productos en film PVC (forros, protectores de hojas y estuches), comprende una serie de etapas, las cuales son mostradas en la Figura 1.2.



Figura 1.2 Etapas de fabricación de productos en film PVC.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

1.1.5. Necesidades.

Ante la preocupación de desarrollar nuevos métodos que permitan a la empresa elevar su producción y al mismo tiempo ser más competitiva, se expuso ante la facultad de Ingeniería Electromecánica el interés de automatizar una parte del proceso de fabricación de productos en film PVC.

Las etapas que se pretenden automatizar de acuerdo a la Figura 1.2 son: la 2 y la 3, las cuales son realizadas por un operario. La idea propuesta es construir una máquina mediante la cual se logre disminuir tiempos de producción y mejorar la calidad del producto final.

a. Corte transversal de las láminas PVC. (Etapa 2)

En esta etapa un operario ubica la bobina entre dos conos, cuyos ejes van montados en la parte superior de una mesa inclinada, adaptada especialmente para el corte como se puede observar en la Figura 1.3. El operario arrastra la lámina PVC con su mano y lleva el extremo hasta la parte inferior de la mesa donde se colocan unos topes para dar la medida de corte. Una vez que la lámina se encuentra correctamente posicionada el operario utiliza una cuchilla que penetra el film, y la desliza sobre una guía perpendicular con la mesa hasta que se haya efectuado el corte transversal por completo. Todas las piezas cortadas se colocan en forma ordenada sobre una mesa.



Figura 1.3 Corte transversal de las láminas PVC.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

b. Corte longitudinal del bloque de láminas PVC. (Etapa 3)

Como se puede apreciar en la Figura 1.4, cuando se tiene una cantidad determinada de tiras de PVC cortadas y ordenadas, un operario lleva dichas tiras a una guillotina donde son cortadas en bloque a medidas más pequeñas de acuerdo con las dimensiones de los productos a fabricarse.

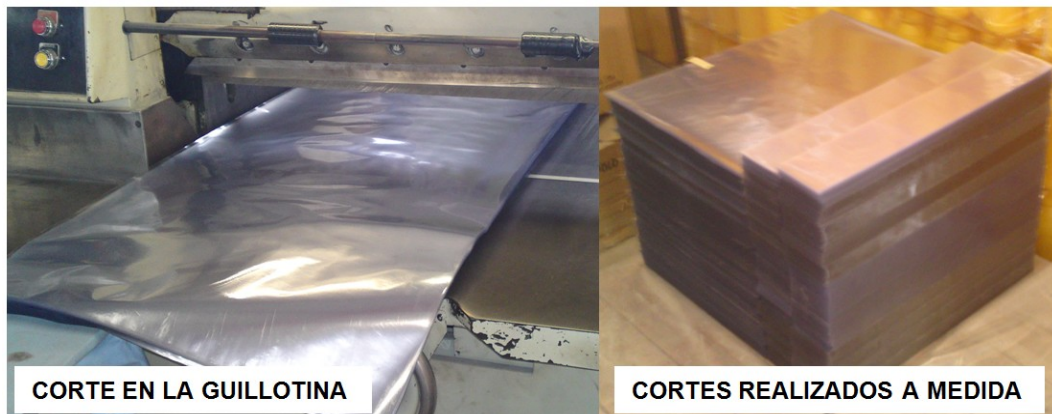


Figura 1.4 Corte longitudinal del bloque de láminas PVC.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

1.2. PLÁSTICOS PVC.

1.2.1. Introducción.

Los plásticos comenzaron a desarrollarse en el siglo XIX e involucran una variedad de materiales que encontramos ampliamente usados en nuestros días por la sociedad moderna y entre ellos está el muy versátil policloruro de vinilo (PVC). En la actualidad el PVC es el segundo plástico más utilizado en todo el mundo.

1.2.2. Fabricación del PVC.

El PVC se logra por polimerización del cloruro de vinilo. Se obtiene a través de un proceso que tiene como base, por una parte a una solución de cloruro de sodio (sal común) 57%, de la cual por electrólisis se libera cloro y por otra parte al gas natural 43%, del que logramos el etileno. Finalmente por síntesis entre el cloro y el etileno obtenemos el cloruro de vinilo [1].

1.2.3. Características y propiedades técnicas generales.

El plástico PVC posee excelentes características entre las cuales se puede mencionar [2]:

- Es ligero, resistente al fuego, inerte y completamente inocuo.
- Es impermeable a gases y líquidos.
- Es buen aislante (térmico, eléctrico y acústico),
- Es resistente a la intemperie.
- Es un material fácil de transformar.
- Presenta estabilidad dimensional y resistencia ambiental.
- Es reciclable por varios métodos.
- Resistencia, rigidez y dureza mecánicas elevadas.
- Elevada resistencia a sustancias químicas.

Para más detalles revisar el Anexo A1, donde se exponen las propiedades técnicas generales del PVC.

1.2.4. Transformación del PVC.

El PVC admite una importante variedad de aditivos los cuales definirán las características de los productos finales como rigidez, dureza, flexibilidad, transparencia, brillo, resistencia al impacto, resistencia a la intemperie, etc. Dentro de esa amplia gama de aditivos se encuentran los plastificantes cuya presencia o no en un compuesto de PVC nos permitirá clasificarlos globalmente como “flexibles” o “rígidos”, respectivamente.

1.2.5. Compuestos PVC plastificados (flexibles).

Los compuestos plastificados llevan incorporados distintos tipos de plastificantes, cuyas cantidades pueden ser variables de acuerdo a la dureza o flexibilidad deseada. Las aplicaciones más comunes que encontramos producidas con este tipo de compuesto son las siguientes [3]:

- Películas para forros de carpetas y agendas, estuches, industria publicitaria, artículos promocionales.

- Cintas adhesivas, envolturas, empaques para alimentos, cerramientos al exterior, delantales industriales, bolsas de uso medicinal, etc.
- Recubrimiento de cables, alambres, pisos.

1.2.6. Usos y funciones de la lámina PVC flexible.

El principal uso de las películas de PVC es el empaque de productos. Algunos productos reciben a veces una envoltura adicional realizada con película. Las misiones de esta envoltura son [4]:

- Protección adicional del producto frente a influencias externas.
- Mejora del control y garantía del cierre.
- Posibilidad de reunir varios productos aislados.
- Mejor promoción de venta.

La función protectora de una película envolvente puede ser muy variada:

- Se evitan los deterioros mecánicos de productos valiosos debidos a los roces sufridos durante el transporte y almacenaje.
- Los productos sensibles tienen una mejor protección contra pérdidas de sus propiedades por influencias externas.
- Muchos productos exigen protección frente a la absorción, la pérdida de humedad o ambos inconvenientes.

Las películas usadas como envoltura suelen ser transparentes, de este modo se reconoce el contenido y se facilita la clasificación. También, una envoltura bien sellada ofrece además la garantía de que el producto no ha sido abierto.

Dependiendo del tipo de película, estas se utilizan en el empaque de alimentos, o para dar una presentación excepcional a los productos, por ejemplo, regalos, forros protectores, empaques de discos, etc.

El aumento en la importancia del uso de las películas de PVC como material de empaque es atribuido a sus excelentes características y propiedades.

1.2.7. Máquinas convertidoras de láminas.

Los tipos de máquinas convertidoras de láminas más utilizadas son:

- Cortadoras rebobinadoras.
- De corte transversal.
- Resmadoras.

a. Cortadoras rebobinadoras.

Se trata de máquinas destinadas a cortar una bobina madre (De gran tamaño) con el fin de obtener tras su enrollado nuevas bobinas más pequeñas con diámetro, anchura y longitud de banda determinados. Este tipo de máquinas cuentan con los sistemas mostrados en la Figura 1.5.



Figura 1.5 Máquina cortadora rebobinadora.

Fuente: <http://www.cartonmachinecn.es/2-4-2-slitter-rewinder-machine.html>

b. De corte transversal.

Son máquinas que cortan las bobinas (de ancho preestablecido) en una serie de formatos o pliegos de una medida determinada pudiendo ser normalizada o no normalizada.

En la Figura 1.6 se pueden observar algunos de los sistemas que componen este tipo de máquinas.

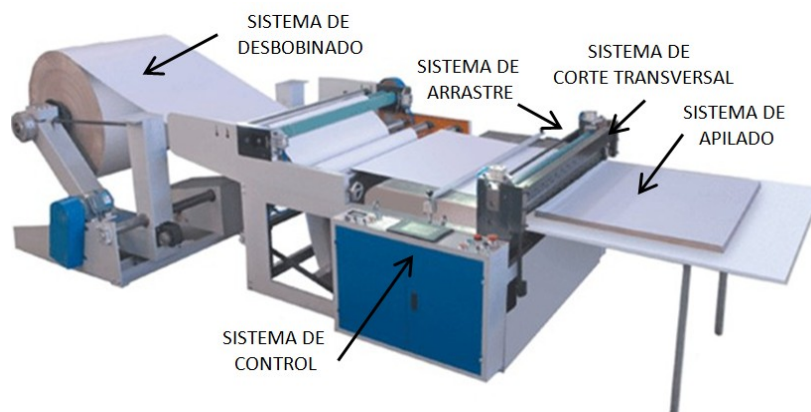


Figura 1.6 Máquina de corte transversal.

Fuente: <http://mingdechina.en.alibaba.com/productlist.html>

c. Resmadoras.

Las máquinas resmadoras llamadas también laminadoras, son máquinas que combinan las características de los dos tipos de máquinas anteriormente nombradas. Como se muestra en la Figura 1.7, la bobina es cortada en formatos o pliegos a una medida determinada, el corte se realiza en dos fases:

- Corte longitudinal, determina el ancho final del formato.
- Corte transversal, determina la longitud.

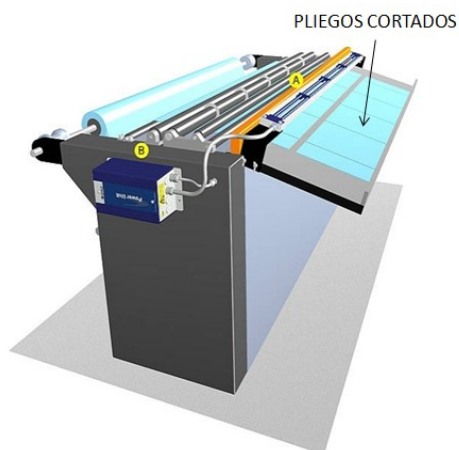


Figura 1.7 Máquina Resmadora.

Fuente: <http://www.electrostatica.net/resmadoras-k151-a16.html>

1.3. ESTUDIO DE MECANISMOS.

1.3.1. Criterios para diseño de máquinas. [5]

Será responsabilidad del diseñador garantizar que la pieza de una máquina sea segura para funcionar bajo condiciones razonables previsible. Se debe evaluar con cuidado la aplicación donde se vaya a utilizar el componente, el ambiente donde operará, la naturaleza de las cargas, los tipos de esfuerzos a los que estará sometido el componente, el tipo de material que se va a utilizar y el grado de confianza que tiene en sus conocimientos sobre la aplicación.

a. Factores de seguridad (FS).

El (FS) es una medida de la seguridad relativa de un componente bajo la acción de una carga. En la mayor parte de los casos, la resistencia del material con que se fabricará un componente se divide entre el factor de diseño para determinar un esfuerzo de diseño, (σ_d) que a veces se llama esfuerzo permisible. Entonces el esfuerzo real que se desarrolla en el componente debe ser menor que el esfuerzo de diseño. Para algunos tipos de carga, es más cómodo establecer una relación con la que se pueda calcular el (FS) a partir de los esfuerzos reales aplicados y de la resistencia del material.

Para determinar el (FS) dependiendo de la aplicación, la naturaleza de las cargas sobre el componente que se va a diseñar, el análisis de esfuerzos, las propiedades del material y el grado de confianza en los datos que se emplean en el proceso de diseño, se siguen ciertos convenios que se detallan a continuación:

a.1. Materiales dúctiles.

$FS = 1,25 - 2$. El diseño de estructuras bajo cargas estáticas, para las que haya un alto grado de confianza en todos los datos del diseño.

$FS = 2 - 2,5$. Diseño de elementos de máquinas bajo cargas dinámicas con una confianza promedio en todos los datos de diseño.

$FS = 2,5 - 4$. Diseño de estructuras estáticas o elementos de máquinas bajo cargas dinámicas con incertidumbre acerca de las cargas, propiedades de los materiales, análisis de esfuerzos o el ambiente.

$FS = 4$ o más. Diseño de estructuras estáticas o elementos de máquinas bajo cargas dinámicas, con incertidumbre en cuanto alguna combinación de cargas, propiedades del material, análisis de esfuerzos o el ambiente. El deseo de dar una seguridad adicional a componentes críticos puede justificar también el empleo de estos valores.

b. Predicciones de falla.

Existen varios métodos distintos para predecir la falla, y es responsabilidad del diseñador seleccionar el más adecuado para las condiciones del proyecto. La Tabla 1.1 representa una clasificación de los métodos para predecir la falla.

Tabla 1.1 Métodos de predicción de falla.

| MÉTODO DE PREDICCIÓN DE FALLA | EMPLEOS |
|-------------------------------|---|
| Esfuerzo normal máximo. | Esfuerzo estático uniaxial en materiales frágiles. |
| Mohr modificado. | Esfuerzo estático biaxial en materiales frágiles. |
| Resistencia de fluencia. | Esfuerzo estático uniaxial en materiales dúctiles. |
| Esfuerzo cortante máximo. | Esfuerzo estático biaxial en materiales dúctiles. |
| Energía de la distorsión. | Esfuerzo biaxial o triaxial en materiales dúctiles. |
| Goodman. | Esfuerzo fluctuante en materiales dúctiles. |
| Gerber. | Esfuerzo fluctuante en materiales dúctiles. |
| Soderberg. | Esfuerzo fluctuante en materiales dúctiles. |

Fuente: Mott, R. L. (2006). Diseño de elementos de máquinas. (4 ed.). México: PEARSON EDUCACIÓN. p. 186.

b.1. Método de la energía de distorsión para esfuerzos estáticos biaxiales o triaxiales en materiales dúctiles.

Está demostrado que el método de la energía de la distorsión es el mejor estimador de falla para materiales dúctiles bajo cargas estáticas o para esfuerzos normales, cortantes o combinados totalmente reversibles. Requiere la definición del nuevo término esfuerzo de Von Mises, representado por el símbolo (σ'), que se puede calcular para esfuerzos biaxiales, con los esfuerzos principales máximo y mínimo (σ_1 y σ_2):

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 \cdot \sigma_2}. \quad EC.1.1$$

Los esfuerzos principales (σ_1 y σ_2) se determinan a partir del círculo de Mohr.

En el método para el esfuerzo biaxial se requiere que el esfuerzo aplicado en la tercera dirección ortogonal (σ_z) sea cero.

Para esfuerzos biaxiales con cortante, el esfuerzo de Von Mises se puede calcular en forma directa con:

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y + 3\tau_{xy}^2}. \quad EC.1.2$$

Para esfuerzo uniaxial con cortante ($\sigma_y = 0$), la ecuación (EC.1.2) se reduce a:

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau_{xy}^2}. \quad EC.1.3.$$

Se requiere una ecuación más general del esfuerzo de Von Mises cuando existen esfuerzos principales en las tres direcciones (σ_1 , σ_2 y σ_3). En el caso normal se ordenan esos esfuerzos, de tal modo que ($\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$) entonces:

$$\sigma' = \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{(\sigma_2 - \sigma_1)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 + (\sigma_3 - \sigma_2)^2}. \quad EC.1.4$$

En general se predice que existe falla cuando:

$$\sigma' > S_y. \quad EC.1.5$$

Para diseñar se puede aplicar el (FS) a la resistencia de fluencia, y entonces emplear:

$$\sigma' < \sigma_d = \frac{S_y}{FS}. \quad EC.1.6$$

1.3.2. Análisis de elementos finitos (FEA). [6]

Los elementos mecánicos en forma de vigas, barras simples, etc., se pueden analizar fácilmente por medio de métodos básicos de la mecánica que proporcionan soluciones aproximadas. Sin embargo rara vez los componentes reales son tan sencillos, y el diseñador se ve obligado a

realizar aproximaciones menos eficaces. En diseño mecánico, donde el software de diseño asistido por computadora (CAD) se utiliza de manera considerable, el método de análisis que se integra perfectamente con el CAD es el análisis de elementos finitos (FEA) por sus siglas en inglés.

Son innumerables las aplicaciones del FEA tales como análisis estático y dinámico lineal y no lineal, de esfuerzo y de deflexión; vibraciones libres y forzadas, transferencia de calor; inestabilidad elástica (pandeo); dinámica de fluidos; análisis de tuberías y física múltiple.

1.3.3. Ventajas del método de análisis por elementos finitos. [7]

Luego de construir un modelo, se deberá asegurar el eficaz funcionamiento de éste en el campo. Sin herramientas FEA, esta tarea sólo se puede afrontar realizando ciclos de desarrollo de productos costosos y que insumen una gran cantidad de tiempo. Un ciclo de desarrollo de producto normalmente incluye los siguientes pasos:

- a) Construir el modelo.
- b) Construcción de un prototipo del diseño.
- c) Prueba del prototipo en el campo.
- d) Evaluación de los resultados de las pruebas de campo.
- e) Modificación del diseño basándose en los resultados de la prueba de campo.

Este proceso continúa hasta que se haya alcanzado una solución satisfactoria. El FEA le puede ayudar a realizar las siguientes tareas:

- Reducir el costo simulando la prueba de su modelo en la computadora en lugar de realizar pruebas de campo costosas.
- Adelantar la comercialización del producto reduciendo el número de ciclos de desarrollo del mismo.
- Mejorar productos probando rápidamente múltiples conceptos y situaciones antes de tomar una decisión final, lo cual le proporciona más tiempo para idear nuevos diseños.

1.3.4. SolidWorks.

Es un programa que permite modelar piezas y ensamblajes así como extraer de ellos tanto planos como otro tipo de información necesaria para la producción. Funciona en base a técnicas de modelado con sistemas CAD. El proceso consiste en trasvasar la idea mental del diseñador al sistema CAD, "construyendo virtualmente" la pieza o ensamblaje [8].

La característica que hace que SolidWorks sea una herramienta competitiva, ágil y versátil es su capacidad de ser paramétrico, variacional y asociativo, además de usar las funciones geométricas inteligentes y emplear un gestor de diseño que permite visualizar, editar, eliminar y actualizar cualquier operación realizada en una pieza de forma bidireccional entre todos los documentos asociados.

Actualmente la herramienta de diseño mecánico SolidWorks se emplea en sectores tan diversos como el aeroespacial, automoción, defensa, educación y universidades, ingeniería civil, ingeniería industrial, ingeniería marina, ingeniería mecánica, investigación y desarrollo y en simulación, entre otros campos [9].

1.3.5. Breve descripción de algunos componentes de máquinas.

a. Ejes.

Los ejes son componentes de dispositivos mecánicos que transmiten movimiento rotatorio y potencia. Es la parte de cualquier sistema mecánico donde la potencia se transmite desde un primotor, que puede ser un motor eléctrico o uno de combustión, a otras partes giratorias del sistema.

b. Cojinetes. [5]

El propósito de un cojinete es soportar una carga y al mismo tiempo permitir el movimiento relativo entre dos elementos de una máquina. El tipo más común de cojinete soporta un eje rotatorio, y resiste cargas puramente radiales, o una combinación de cargas radiales y axiales. Algunos cojinetes usan elementos rodantes, como bolas esféricas o rodillos cilíndricos o cónicos. Con ello se obtiene un coeficiente de fricción muy bajo.

En la Tabla 1.2 se puede visualizar una comparación entre los principales tipos de rodamientos.

Tabla 1.2 Comparación entre los principales tipos de rodamientos.

| Tipo de rodamiento | Capacidad de carga radial | Capacidad de carga de empuje | Capacidad de desalineamiento |
|------------------------|---------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Una hilera de bolas. | Buena | Regular | Regular |
| Doble hilera de bolas. | Excelente | Buena | Regular |
| Contacto angular. | Buena | Excelente | Mala |
| Rodillos cilíndricos. | Excelente | Mala | Regular |
| Agujas. | Excelente | Mala | Mala |
| Rodillos esféricos. | Excelente | Regular a buena | Excelente |
| Rodillos cónicos. | Excelente | Excelente | Mala |

Fuente: Mott, R. L. (2006). Diseño de elementos de máquinas. (4 ed.). México: PEARSON EDUCACIÓN. p. 600.

b.1. Dimensionamiento de cojinetes.

A diferencia de otros cálculos de elementos de máquinas, los cojinetes o rodamientos se seleccionan considerando la vida útil que se desea que tengan. Esto significa que la vida infinita no es posible de alcanzar y debemos pensar que los rodamientos son elementos de desgaste que deben ser reemplazados periódicamente para evitar daños al mecanismo en el cual están montados. Para la selección de los rodamientos se utiliza la fórmula de la vida estimada en horas de funcionamiento:

$$L_{10h} = \left(\frac{1000000}{60n} \right) \cdot \left(\frac{Cr}{P} \right)^p . \quad EC. 1.7$$

Dónde:

L_{10h} : Vida estimada en horas de funcionamiento (30000, según Anexo D1).

n : Velocidad constante de rotación [rpm].

Cr : Capacidad de carga dinámica [N].

P : Carga dinámica equivalente sobre el rodamiento [N].

p : Exponente de la fórmula de la vida (3 para rodamientos de bolas).

Cuando el rodamiento rígido de bolas soporta cargas puramente radiales se puede asumir que:

$$P = F_r. \quad EC.1.8$$

Dónde:

F_r : Fuerza radial sobre el rodamiento [N].

Adicionalmente un rodamiento rígido de bolas puede soportar cargas puramente axiales siempre y cuando estas no excedan de $(0,5 \cdot C_o)$, siendo (C_o) la capacidad de carga estática en el rodamiento.

Despejando la capacidad de carga dinámica Cr de la ecuación (EC.1.7) se tiene:

$$Cr = P \cdot \left(\frac{L_{10h} \cdot 60 \cdot n}{1000000} \right)^{\frac{1}{p}}. \quad EC.1.9$$

c. Transmisiones por correas dentadas.

Como se puede observar en la Figura 1.8, las correas dentadas están provistas de dientes que se ajustan a ranuras formadas en la periferia de las poleas. Las correas de sincronización no se estiran ni resbalan y, en consecuencia, transmiten potencia con relación constante de velocidad angular. No requieren tensión previa. Pueden operar sobre un intervalo muy amplio de velocidades, tienen eficiencias en un intervalo de 97 a 99%. Es una solución atractiva para requisitos de transmisión de precisión [6].

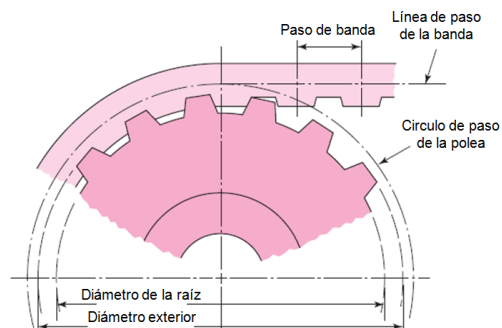


Figura 1.8 Transmisión por correas dentadas.

Fuente: Budynas, R. G. y Nisbett, J. K. (2008). Diseño en ingeniería mecánica de Shigley. (8 ed.). México: McGraw-Hill Interamericana. p. 886.

El hecho de que la banda sea dentada proporciona varias ventajas sobre las bandas ordinarias y entre estas tenemos:

- Velocidades angulares constantes y elevadas.
- Resistencia a sobrecargas elevadas e intermitentes.
- Transmisiones silenciosas.
- No precisan de un esfuerzo de pretensado inicial.
- Ninguna necesidad de lubricación ni mantenimiento.

d. Transmisiones por engranes rectos. [5]

De acuerdo a la Figura 1.9, los engranes rectos son ruedas dentadas cilíndricas que se usan para transmitir movimiento y potencia desde un eje giratorio hasta otro. Los dientes de un engrane conductor encajan con precisión en los espacios entre los dientes del engrane conducido. Los dientes del impulsor empujan los dientes del impulsado, lo cual constituye una fuerza perpendicular al radio del engrane. Con esto se transmite un par torsional, y como el engrane es giratorio también se transmite potencia.

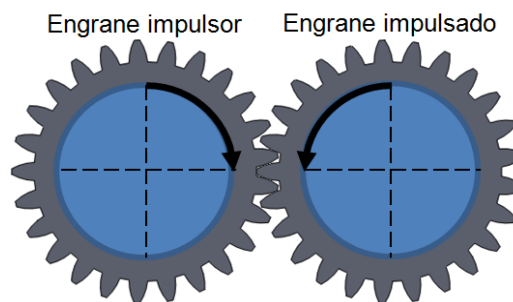


Figura 1.9 Transmisión por engranes rectos.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

Los engranes de los impulsores de máquinas, y de muchos tipos de reductores de velocidad, de servicio medio a pesado, se fabrican con aceros al medio carbón. Entre una gran variedad de aceros al carbón y aleados, están: AISI 1020, AISI 1040, AISI 4140, AISI 4340, AISI 5120, etc.

e. Resortes. [5]

Un resorte es un elemento flexible que ejerce una fuerza o un par torsional y, al mismo tiempo, almacena energía. La fuerza puede ser lineal, de empuje o de tracción, o puede ser radial. En forma inherente, los resortes almacenan energía cuando se flexionan, y regresan la energía cuando se quita la fuerza que causó la deflexión. Los resortes pueden ser clasificados según la dirección y la naturaleza de la fuerza que ejercen cuando se deflexionan como: de empuje, de tracción, radial y de torsión.

En los resortes helicoidales de compresión, un alambre redondo se enrolla y forma un cilindro con paso constante entre las espiras adyacentes. En la Figura 1.10 se muestran cuatro configuraciones prácticas de los extremos.

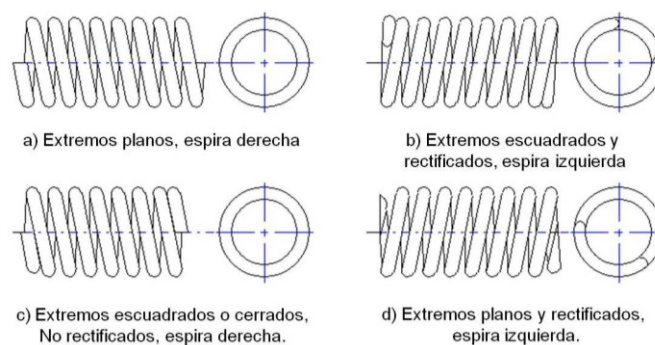


Figura 1.10 Extremos en resortes helicoidales de compresión.

Fuente: Mott, R. L. (2006). Diseño de elementos de máquinas. (4 ed.). México: PEARSON EDUCACIÓN. pp. 730, 732.

f. Sujetadores. [5]

Un sujetador es cualquier objeto que se use para conectar o juntar dos o más componentes. En forma literal, se dispone de cientos de tipos de sujetadores y sus variaciones. Los más comunes son los roscados, a los cuales se les conoce con muchos nombres, entre ellos pernos, tornillos, tuercas, espárragos, prisioneros, etc.

En las máquinas, la mayoría de los tornillos son de acero, por su alta resistencia, gran rigidez, buena ductilidad y buena facilidad de maquinado y formado.

La resistencia de los aceros para tornillos y pernos se usa para determinar su grado, de acuerdo con una de varias normas. En general los tornillos métricos usan un sistema de clave numérica, que va de 4.6 a 12.9; los números mayores indican resistencias mayores.

En la Tabla 1.3 se muestran los datos correspondientes a los grados métricos de aceros para pernos.

Tabla 1.3 Grados métricos de aceros para pernos.

| Grado | Tamaño del perno | Resistencia a la tensión (MPa) | Resistencia de fluencia (MPa) |
|-------|------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| 4.6 | M15 – M36 | 400 | 240 |
| 4.8 | M1.6 – M16 | 420 | 340 |
| 5.8 | M5 – M24 | 520 | 415 |
| 8.8 | M17 – M36 | 830 | 660 |
| 9.8 | M1.6 – M16 | 900 | 720 |
| 10.9 | M6 – M36 | 1040 | 940 |
| 12.9 | M1.6 – M36 | 1220 | 1100 |

Fuente: Mott, R. L. (2006). Diseño de elementos de máquinas. (4 ed.). México: PEARSON EDUCACIÓN. p. 716.

1.4. SISTEMA NEUMÁTICO.

1.4.1. Introducción a la neumática. [10]

El aire comprimido, como energía para su utilización y refuerzos de recursos físicos, es una de las más antiguas que se conocen. La aplicación de la neumática es como consecuencia de una necesidad cada vez más acuciante de la automatización y racionalización del trabajo.

Se puede definir a la neumática como la técnica de aplicación y utilización racional del aire comprimido.

1.4.2. Principios fundamentales del aire comprimido. [11]

El aire atmosférico es un elemento abundante en la naturaleza, limpio, almacenable, de fácil transporte, no inflamable y compresible, lo que lo convierte en un fluido ideal para su empleo como elemento básico en los sistemas que aprovechan la energía de presión acumulada por un fluido.

El aire puede comprimirse por medio de una acción mecánica exterior hasta alcanzar una presión determinada y, al entrar en contacto con un órgano de trabajo, como puede ser un cilindro, liberar la energía acumulada por la presión.

Supuesto que sea un cilindro de sección (A), sobre cuyo émbolo actúa aire comprimido a presión (p), la fuerza comunicada al vástago es:

$$F = A \cdot p. \quad EC. 1.10$$

Las unidades de presión más utilizadas son la unidad técnica o atmósfera (atm), y la unidad internacional llamada pascal (Pa). En la práctica se emplea con frecuencia el bar, que equivale a (10^5 Pa).

1.4.3. Ventajas del aire comprimido. [10]

- *Abundante.* Es ilimitado y se encuentra disponible gratuitamente en cualquier lugar. El aire utilizado pasa de nuevo a la atmósfera.
- *Almacenaje.* Almacenado y comprimido en acumuladores, puede ser transportado y utilizado donde y cuando se precise.
- *Antideflagrante.* Está a prueba de explosiones. No hay riesgos de chispas en atmósferas explosivas.
- *Temperatura.* Es fiable, incluso a temperaturas extremas.
- *Limpieza.* No es perjudicial ante escapes y pueden colocarse en las líneas depuradores para mantener el aire limpio.
- *Elementos.* El diseño y constitución de elementos es fácil y de simple confección.
- *Velocidad.* Se obtienen velocidades muy elevadas en aplicaciones de herramientas de montaje (atornilladores, llaves, etc.).
- *Regulación.* Las velocidades y las fuerzas pueden regularse de manera continua y escalonada, combinando con sistemas oleoneumáticos.

- *Sobrecargas.* Se puede llegar en los elementos neumáticos de trabajo hasta su total parada, sin riesgo de sobrecargas o tendencia al calentamiento.

1.4.4. Inconvenientes del aire comprimido. [10]

- *Preparación.* Es preciso eliminar impurezas y humedades previas a su utilización.
- *Velocidad.* Debido a su gran compresibilidad, no se obtienen velocidades uniformes en los elementos de trabajo.
- *Ruidos.* El aire que escapa a la atmósfera produce a veces ruidos bastante molestos. Se superan con dispositivos silenciadores.
- *Esfuerzos.* Son limitados (2000 a 3000 kg con presión de trabajo de 7 bar).
- *Coste.* Es una fuente de energía cara, pero compensada con el buen rendimiento y facilidad de implantación.

1.4.5. Estructura de los sistemas neumáticos. [12]

Los elementos primarios para en diseño de un sistema neumático son:

- Alimentación de energía.
- Elementos de entrada (sensores).
- Elementos de procesamiento (procesadores).
- Elementos de control.
- Componentes de poder (actuadores).

Los elementos en el sistema son representados por símbolos que indican la función del elemento. En Anexo G1 se puede observar el flujo que se lleva para el diseño de un diagrama neumático.

1.4.6. Símbolos neumáticos.

Estos se utilizan para representar cada elemento dentro de los sistemas neumáticos. En el Anexo G2 se muestran algunos símbolos neumáticos.

1.4.7. Electroneumática. [11]

Cuando las distancias a cubrir por las conducciones neumáticas son grandes, las señales de mando se debilitan y retrasan sus efectos, debido a la pérdida de carga, lo que significa que ya no tiene la condición de rápidas y seguras. Por otro lado, las conducciones largas representan un consumo muy elevado de aire y los gastos que de ello se derivan pueden resultar intolerables.

Por estas razones interesa, con frecuencia, combinar las ventajas del mando eléctrico con la simplicidad y eficacia de la neumática, lo que nos lleva a las aplicaciones electroneumáticas.

1.5. SENSORES Y ACTUADORES.

1.5.1. Sensor. [13]

Un sensor es un dispositivo que convierte una variable física no eléctrica en otra eléctrica, que en alguno de sus parámetros (nivel de tensión, nivel de corriente, frecuencia, etc.) contiene información correspondiente a la primera. En la Figura 1.11 se observa un sensor de proximidad inductivo.

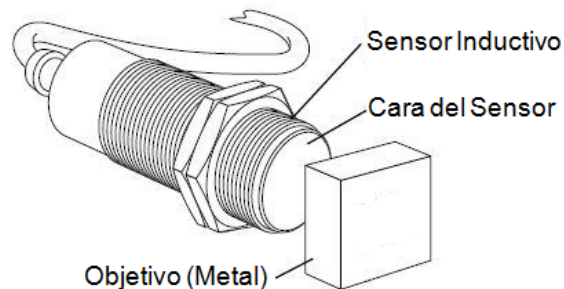


Figura 1.11 Sensor de proximidad inductivo.

Fuente: <http://geniusdevils.com/2013/04/inductive-proximity-sensors/>

El tipo de señal eléctrica portadora de información y sus parámetros varía de un dispositivo sensor a otro, por lo que es necesario acoplar la salida del sensor a un circuito que, de acuerdo con las características de aquélla, amplifica y/o filtra y/o corrige y/o convierte la señal proporcionada por el elemento sensor. Dicho circuito recibe el nombre del circuito de acondicionamiento.

Se obtiene así un sistema como el representado en la Figura 1.12 que puede ser denominado como sistema sensor.

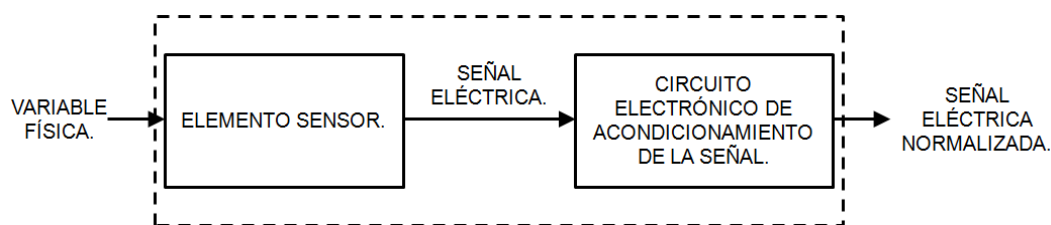


Figura 1.12 Componentes básicos de un sensor.

Fuente: Mandado, E., Marcos, J., Fernández, C. y Pérez, S. (2005). *AUTÓMATAS PROGRAMABLES ENTORNO Y APLICACIONES*. (1 ed.). Madrid, España: Thompson - Paraninfo, S. A. p. 464.

a. Clasificación de sensores según la variable física medida. [13]

Una clasificación útil de los sensores es la realizada en función del tipo de variable física que convierten en eléctrica. En la Tabla 1.4 se representa dicha clasificación, en la que se incluyen las variables físicas más importantes que es necesario medir en los procesos y productos industriales.

Tabla 1.4 Clasificación de sensores según la variable física medida.

| | |
|--|------------------------------------|
| Clasificación de los sensores según el tipo de variable física medida | Presión. |
| | Temperatura. |
| | Humedad. |
| | Fuerza. |
| | Aceleración. |
| | Velocidad. |
| | Caudal. |
| | Presencia y/o posición de objetos. |
| | Nivel de sólidos o líquidos. |
| | Desplazamiento de objetos. |
| | Químicos. |
| | Otros. |

Fuente: Mandado, E., Marcos, J., Fernández, C. y Pérez, S. (2005). *AUTÓMATAS PROGRAMABLES ENTORNO Y APLICACIONES*. (1 ed.). Madrid, España: Thompson - Paraninfo, S. A. p. 478.

La Tabla 1.5 constituye una guía general para seleccionar el sensor utilizable en diferentes tipos de aplicaciones.

Tabla 1.5 Variables físicas que se pueden medir con sensores basados en distintos principios de funcionamiento.

| PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO | VARIABLE FÍSICA MEDIDA | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|------------------------|----------|------------|--------------|---------|--------|----------|---------|-------------|--------------|----------------|
| | Posición. | Desplaz. | Velocidad. | Aceleración. | Tamaño. | Nivel. | Presión. | Fuerza. | Proximidad. | Temperatura. | Rad. Luminosa. |
| Microrruptores. | X | | | | X | | | | | | |
| Finales de carrera. | X | | | | | | | | | | |
| Extensiómetros. | X | X | X | X | | | X | X | | | |
| Termorresistivos. | | | | | | | | | | X | |
| Magnetorresistivos. | X | X | X | | | | | | | | |
| Capacitivos. | X | X | | X | | X | X | X | X | | |
| Inductivos. | X | X | X | X | | | X | X | X | | |
| Optoelectrónicos. | X | X | X | | | | | | X | | |
| Piezoeléctricos. | | | X | X | X | | X | X | | | |
| Fotovoltaicos. | | | | | | | | | | | X |
| Ultrasónicos. | X | | | | | X | | | | | |

Fuente: Mandado, E., Marcos, J., Fernández, C. y Pérez, S. (2005). AUTÓMATAS PROGRAMABLES ENTORNO Y APLICACIONES. (1 ed.). Madrid, España: Thompson - Paraninfo, S. A. p. 478.

1.5.2. Actuadores. [14]

Son dispositivos inherentemente mecánicos cuya función es proporcionar fuerza para mover o “actuar” otros dispositivos mecánicos. La fuerza que provoca un actuador proviene de tres fuentes posibles: Presión neumática, presión hidráulica, y fuerza motriz eléctrica (motor eléctrico o solenoide). Dependiendo del origen de la fuerza el actuador se denomina “neumático”, “hidráulico” o “eléctrico”.

Entre algunos de los actuadores eléctricos más conocidos tenemos a: relés, contactores, servo motores, etc.

a. Relés y contactores.

Se trata de componentes electromecánicos que tienen por objetivo establecer o interrumpir el paso de corriente, ya sea en el circuito de potencia o en el circuito de mando, tan pronto se energice la bobina. Son dispositivos con capacidad de cortar la corriente eléctrica de un receptor o instalación, con la posibilidad de ser accionados a distancia, que tiene dos posiciones de funcionamiento (accionado y en reposo). En la Figura 1.13 se presenta como ejemplo un contactor, cortesía de Telemecanique.



Figura 1.13 Contactor.

Fuente: es.wikipedia.org/wiki/Contactor

La diferencia entre estos dos dispositivos radica en que el contactor es de construcción más robusta que el relé para soportar mayores tensiones y corrientes. Otra diferencia consiste en que mientras los contactos de un relé están formados por un común, otro abierto y otro cerrado, en un contactor los contactos se encuentran abiertos o cerrados, es decir, no tienen contacto en común [11].

b. Servo motores.

b.1. Definición. [15]

Un servo motor se define como un motor utilizado para obtener una salida precisa y exacta en función del tiempo. Dicha salida esta expresada habitualmente en términos de posición, velocidad y/o torque. Si bien existen diferentes tecnologías de motores que pueden ser utilizadas como servo motor, este documento tratará sobre los servo motores industriales AC brushless como se ilustra en la Figura 1.14.



Figura 1.14 GSK Servo motores Brushless.

Fuente: <http://www.techdesign.com.ec/techdesign/>

La aplicación industrial de este tipo de motores está desarrollándose significativamente por múltiples razones entre las que podemos mencionar: nuevos y más potentes componentes magnéticos para los motores como los imanes de tierras raras, reducción de costo de los motores y los equipos electrónicos necesarios para el control de los mismos, incorporación en dichos equipos electrónicos de nuevas funciones para un control preciso y confiable del movimiento que permiten utilizarlos eficientemente e incorporar nuevas áreas a su dominio de aplicación.

b.2. Características. [16]

Las características principales de este tipo de motores son:

- Fiabilidad de funcionamiento y bajo mantenimiento.
- Par nominal a velocidad cero, como se aprecia en la Figura 1.15.
- Alta capacidad de sobrepasar (3-Par nominal).
- Alta precisión en el control de velocidad y posición.
- Manejo de rampas de aceleración y desaceleración
- Pérdidas en el rotor muy bajas.
- Rotor con poca inercia.

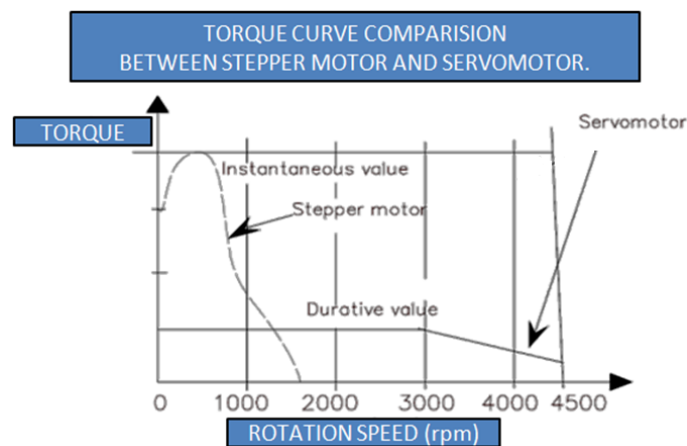


Figura 1.15 Curva par - velocidad de un servo motor.

Fuente: <http://www.techdesign.com.ec/techdesign/>

b.3. Funcionamiento y partes constitutivas. [15]

Constructivamente el servo motor brushless posee un estator parecido al de un motor de jaula con un núcleo laminado y un bobinado trifásico uniformemente distribuido. El rotor está constituido por un grupo de imanes permanentes fijados en el eje de rotación. La forma de los rotores a imanes varía de acuerdo al diseño.

La fijación de los imanes al rotor ha sido uno de los puntos críticos en la construcción de estos motores debido a las altas fuerzas centrífugas a las que se encuentran sometidos durante los procesos de aceleración y frenado. Actualmente se combinan fijaciones mecánicas de diferentes tipos con pegado utilizando adhesivos especiales. En la Figura 1.16 se muestran las partes de un servo motor brushless.

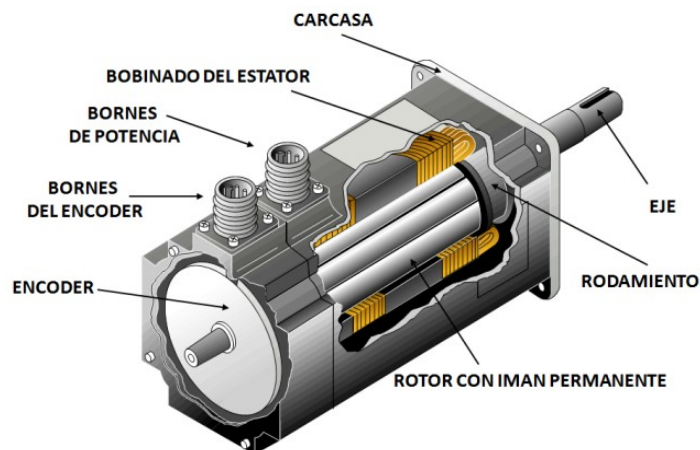


Figura 1.16 Partes de un servo motor brushless.

Fuente: <http://www.techdesign.com.ec/techdesign/>

Haciendo circular corriente alterna en las fases del bobinado de estator producimos un campo magnético rotante en el entrehierro del motor. Si en cada instante el campo magnético generado en el estator intercepta con el ángulo correcto al campo magnético producido por los imanes del rotor generamos torque para lograr el movimiento del motor y la carga.



Figura 1.17 GSK AC Servo drive DA98B Series.

Fuente: <http://www.gsk.com.cn>

En la Figura 1.17 se puede ver un dispositivo electrónico denominado servo drive el cual se utiliza para alimentar el estator con la tensión y frecuencia correcta, permite en cada instante, generar un campo magnético estatorico de magnitud y posición correctamente alineada con el campo magnético de rotor. De esta forma obtenemos el torque necesario para mantener la velocidad y posición deseada del eje del servo motor.

El proceso implica conocer en todo instante la posición del rotor para lo cual se equipan los servo motores con dispositivos tales como resolvers, encoders u otros. Los mismos rotan solidariamente con el eje del servo motor e informan al servo drive la posición del rotor.

Debe puntualizarse que para la operación normal de un servo motor necesitamos un servo drive, el motor no puede ser operado directamente de la red de suministro.

b.4. Sistema de control. [16]

Un servo drive es como un variador de velocidad diseñado específicamente para el control de los servo motores. Mediante el servo drive y el encoder del servo motor se trabaja en lazo cerrado como se ilustra en la Figura 1.18, lo que permite detectar los posibles “errores” en la actuación del motor y dar la oportuna orden de corrección del mismo.

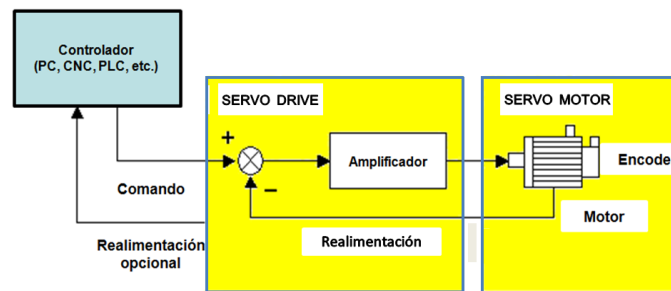


Figura 1.18 Sistema de control de una servo unidad.

Fuente: www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/Servomotores.pdf

Los servo drives actuales vienen dotados de una serie características orientadas a facilitar la labor del programador del mismo y aumentar el rendimiento. Algunas de las más significativas son:

- Reducción del tiempo de cálculo de la CPU - posicionados más rápidos.
- Autoajuste Online - se ajusta automáticamente a los movimientos de la máquina.
- Control de velocidad realimentado.
- Filtro de supresión de resonancia del eje.
- Selección del modo de control de velocidad proporcional/integral.
- Selección del modo de operación.
- Posibilidad de manejo manual de los servo motores (función jog).
- Búsqueda de origen.
- Límite de par (para evitar sobrepar).
- Procesamiento regenerativo.

b.5. Ventajas y desventajas.

Las principales ventajas del servo motor Brushless vienen dadas por las posibilidades que ofrece de controlar su velocidad y posicionamiento, incluyendo unas respuestas muy rápidas a las señales de arranque, paro y variaciones sobre la marcha.

Tienen un ciclo de vida más prolongado, que los típicos motores síncronos o asíncronos, a la hora de soportar el constante cambio de velocidad. También pueden actuar como un freno, por derivación de la electricidad generada, a partir del propio servo motor [17].

La posibilidad de construcción de servo motores de distintas formas (compactos, planos, rotor hueco, etc.) permite la adaptación de los mismos a diversas aplicaciones industriales. Los conjuntos (servo motor – servo drive) son más eficientes desde el punto de vista rendimiento y consumen menos energía que algunas aplicaciones tradicionales.

Es así que los servo motores están ganando un lugar de privilegio en muy diversos ámbitos de la industria, en los cuales se valora sus extraordinarios desempeños, cuando se busca implementar soluciones de automatización de gran confiabilidad. La única desventaja que presenta un servo motor es el coste elevado frente a otros tipos de motores además de la poca existencia en el mercado local.

b.6. Aplicaciones. [18]

La versatilidad de este tipo de accionamientos se traduce en multitud de aplicaciones del tipo: Desplazamientos, posicionamientos, transporte, giro, regulaciones de caudal, máquinas herramientas, manipulaciones, maquinaria industrial, etc. Entre las cuales podemos nombrar: máquinas para corte de lámina, como se muestra en la Figura 1.19, máquinas CNC, posicionamiento giratorio, posicionamiento en bandas transportadoras, soldadura de puntos sobre la marcha, etc.

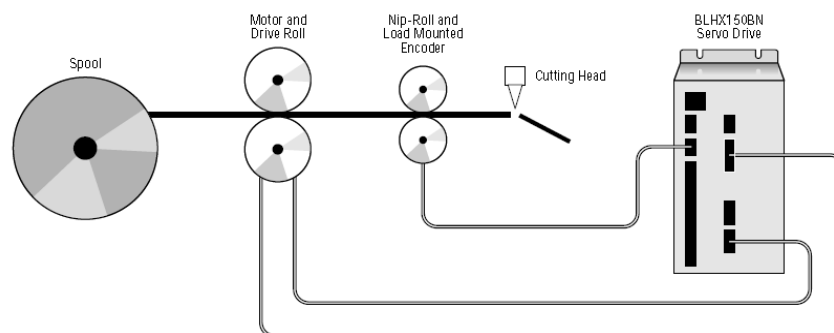


Figura 1.19 Máquinas para corte de lámina.

Fuente: <http://www.compumotor.com/catalog/catalogA/SectionA.pdf>

1.6. FUNDAMENTOS DE PLC'S.

1.6.1. Definición.

El PLC es un dispositivo electrónico programable, utilizado para cumplir funciones de automatismos lógicos y control de procesos de manufactura en ambiente industrial y en tiempo real.

Años atrás muchas de las tareas de control se solucionaban mediante relés y contactores, para ello se tenían que diseñar los diagramas de circuito, especificar e instalar los componentes eléctricos, y crear listas de cableado.

Entonces se debía cablear los componentes necesarios para realizar una tarea específica. Si se cometía un error, los cables tenían que volver a conectarse correctamente. Un cambio en su función o una ampliación del sistema requería grandes cambios en los componentes y su recableado.

En un PLC el cableado entre dispositivos y los contactos entre relés se hacen en un programa que se almacena en su memoria. Aunque todavía se requiere el cableado para conectar los dispositivos actuadores, sensores y demás, éste es menos intensivo. La modificación de la aplicación y la corrección de errores son más fáciles de realizar. Es más fácil crear y cambiar un programa en un PLC que cablear y recablear un circuito. En la Figura 1.20 se ilustra un Micro PLC, cortesía de SIEMENS.



Figura 1.20 Micro PLC SIMATIC S7-1200.

Fuente: <http://www.automation.siemens.com>

1.6.2. Campos de aplicación. [19]

Su utilización se da fundamentalmente en aquellas instalaciones en donde es necesario realizar procesos de maniobra, control, señalización, etc., por tanto, su aplicación abarca desde procesos de fabricación industrial de cualquier tipo al de transformaciones industriales, control de instalaciones, etc.

Ejemplos de aplicaciones generales podrían ser los siguientes:

a. Maniobra de maquinas.

- Maquinaria en la industria de la madera.
- Maquinaria en procesos de grava, arena y cemento.
- Maquinaria en la industria del plástico.
- Maquinaria en procesos textiles y de confección, etc.

b. Maniobra de instalaciones.

- Instalaciones de aire acondicionado, calefacción, etc.
- Instalaciones de seguridad.
- Instalaciones de almacenamiento y trasvase de cereales.
- Instalaciones de plantas embotelladoras.

c. Señalización y control.

- Chequeo de programas.
- Señalización del estado de procesos.

1.6.3. Ventajas del PLC. [19]

No todos los autómatas ofrecen las mismas ventajas sobre la lógica cableada, ello es debido, principalmente, a la variedad de modelos existentes en el mercado y a las innovaciones técnicas que surgen constantemente.

Las condiciones favorables que presenta un PLC son las siguientes:

- Posibilidad de introducir modificaciones sin cambiar el cableado ni añadir aparatos.
- Mínimo espacio de ocupación.
- Economía de mantenimiento. Además de aumentar la fiabilidad del sistema, al eliminar contactos móviles, los mismos autómatas pueden detectar e indicar averías.
- Posibilidad de gobernar varias máquinas con un mismo autómata.
- Menor tiempo para la puesta en funcionamiento del proceso al quedar reducido el tiempo de cableado.

1.7. INTERFAZ HOMBRE MÁQUINA (HMI).

1.7.1. Generalidades.

En los procesos industriales existe una fuerte tendencia a la automatización de sus diferentes fases, en especial la relacionada al control de procesos, toda vez que es la parte determinante en cuanto a la calidad del resultado final; la importancia de que exista una buena comunicación entre el operario y la máquina como parte de un sistema de control de procesos automatizado, radica en que sólo así se podrán analizar las diferentes anomalías que puedan suceder en un intervalo de tiempo determinado; asimismo, también se podrán ajustar los diversos parámetros relacionados al proceso de control.

1.7.2. Definición. [20]

HMI significa "Human Machine Interface", es decir es el dispositivo o sistema que permite el interfaz entre la persona y la máquina como se puede visualizar en la Figura 1.21.

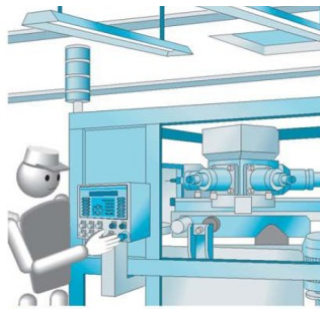


Figura 1.21 Entorno HMI (Dialogo Hombre - Máquina).

Fuente: <http://www.global-download.schneider-electric.com>

Dado que las máquinas y procesos están implementadas con controladores y otros dispositivos electrónicos que dejan disponibles puertas de comunicación, es posible contar con sistemas de HMI bastantes más poderosos y eficaces, además de permitir una conexión más sencilla y económica con el proceso o máquinas.

1.7.3. Tipos de HMI.

a. Paneles de operación.

Los paneles de operación; conocidos por las siglas OP, están formados por una pantalla grafica y un conjunto de pulsadores de membrana, asociados para constituir un teclado. Ambos se controlan mediante un procesador especializado que constituye un controlador de pantalla y teclado, que se acopla al autómatá programable a través de la correspondiente interfaz [13].

Un ejemplo de paneles de operación son las unidades SIMATIC Series 70 de SIEMENS, como se muestra en la Figura 1.22.

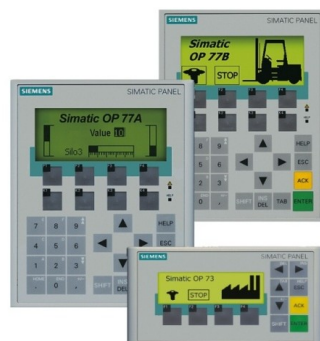


Figura 1.22 Paneles de operación SIMATIC Series 70.

Fuente: <http://www.automation.siemens.com>

b. Paneles táctiles.

Los paneles táctiles; conocidos por las siglas TP, utilizan una pantalla grafica que posee elementos sensores sensibles al tacto. De esta forma la pantalla realiza la función de entrada y de salida y se elimina el teclado [13].

En la Figura 1.23 se presenta como ejemplo la familia de paneles táctiles SIMATIC series 170 de SIEMENS.

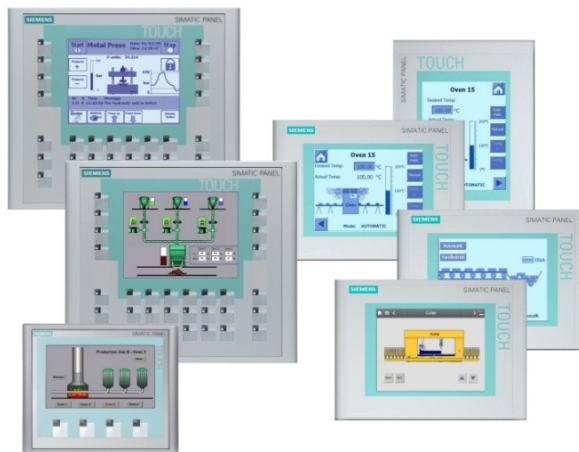


Figura 1.23 Paneles táctiles SIMATIC series 170.

Fuente: <http://www.automation.siemens.com>

Tanto los paneles de operación como las pantallas táctiles pueden poseer diferentes características en lo referente a las dimensiones de la pantalla, capacidad grafica de esta, dimensiones del teclado, etc.

c. Autómatas programables completos.

Para las máquinas en las que es conveniente que el sistema electrónico de control este empotrado en ellas, los fabricantes de autómatas programables comercializan sistemas electrónicos de control que incluyen en una sola carcasa una unidad HMI y un autómata programable. Dichos sistemas reciben, la denominación de autómatas programables completos. Dada la diversidad de unidades HMI y de autómatas programables diferentes los fabricantes suelen comercializar una familia de autómatas programables completos [13].

En la Figura 1.24 se muestra como ejemplo de autómata programable completo a la unidad SIMATIC C7 - 636 TOUCH de SIEMENS.



Figura 1.24 PLC Completo SIMATIC C7 - 636 TOUCH.

Fuente: <http://support.automation.siemens.com>

d. **PC + Software.**

Constituye otra alternativa basada en un PC en donde se carga un software apropiado para la aplicación.

Para ambientes industriales se emplean computadores industriales los cuales son sistemas electrónicos de control constituidos por un computador de aplicación general adecuadamente diseñado y montado para poder trabajar en el entorno de un proceso industrial continuo o discreto y soportar condiciones ambientales adversas como: presencia de polvo, humedad, elevada temperatura, interferencias electromagnéticas, etc. [13]

1.7.4. Funciones de un HMI. [21]

- *Monitoreo.* Es la habilidad de obtener y mostrar datos de la planta en tiempo real. Estos datos se pueden mostrar como números, texto o gráficos que permitan una lectura fácil de interpretar.
- *Supervisión.* Esta función permite junto con el monitoreo la posibilidad de ajustar las condiciones de trabajo del proceso.
- *Alarmas.* Es la capacidad de reconocer eventos excepcionales dentro del proceso y reportar estos eventos.
- *Control.* Es la capacidad de aplicar algoritmos que ajustan los valores del proceso y así mantener estos valores dentro de ciertos límites.

- *Históricos*. Es la capacidad de mostrar y almacenar en archivos, datos del proceso a una determinada frecuencia. Este almacenamiento de datos es una poderosa herramienta para la optimización y corrección de procesos.

1.7.5. Criterios generales para la creación de un HMI.

Para el control de procesos, el HMI debe ser capaz de mostrar al usuario datos básicos de todo sistema, todo esto presentado en tiempo real.

En el diseño de un HMI debe emplearse tanto componentes gráficos como componentes numéricos, además debe utilizarse una terminología estandarizada y clara para el usuario final.

Se recomienda que las variables del proceso sean lo más claras para el usuario; asimismo, se debe mantener un registro histórico de las variaciones ocurridas, esto con el fin de estudiar su comportamiento y poder realizar las predicciones respectivas.

En resumen, un HMI debe proporcionar una explicación transparente y oportuna en tiempo real de lo que ocurre en el proceso.

CAPÍTULO II

DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES MECÁNICOS Y NEUMÁTICOS DE LA MÁQUINA.

2.1. PARÁMETROS DE DISEÑO.

Como se expuso en el capítulo anterior, con el presente proyecto se conseguirá mejorar el proceso de corte de láminas de plástico PVC mediante la implementación de un sistema automatizado acorde con las tendencias tecnológicas actuales y de esta manera mejorar la calidad e incrementar la producción de forros, protectores de hojas y estuches para juegos geométricos.

Para determinar los parámetros de diseño de la máquina cortadora se consideraron restricciones tanto económicas, físicas, humanas así como también el ambiente de trabajo, además fue de gran ayuda el investigar algunas especificaciones técnicas de maquinaria industrial similar.

Atendiendo a los requerimientos y especificaciones dadas por la empresa, se tienen los siguientes parámetros de diseño de la máquina:

- Capacidad de corte de la máquina: 400 ciclos/hora.
- Capacidad de carga en el desbobinado: Bobina de 45 Kg.
- Espesor de corte: Lámina de 0,120 - 0,250 mm.
- Longitud de corte transversal: Variable.
- Longitud de corte longitudinal: Variable.
- Dimensiones de la máquina:
 - Longitud \leq 2,5m.
 - Ancho \leq 1,5m.
 - Altura \leq 1,2m.
- Dimensiones de la bobina: Ver la Figura 2.1.

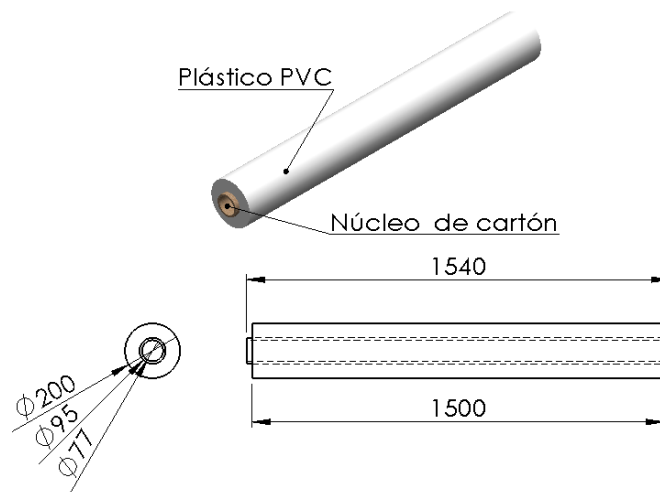


Figura 2.1 Dimensiones de las bobinas de PVC.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

Para el diseño de los componentes de la máquina cortadora se utilizará el método de la energía de la distorsión.

En cuanto al Factor de Seguridad se alcanzarán valores comprendidos entre ($FS=2,5 - 4$), que son los recomendados para el diseño de estructuras estáticas o elementos de máquinas bajo cargas dinámicas con incertidumbre acerca de las cargas, propiedades de los materiales, análisis de esfuerzos o el ambiente.

2.2. PLANTEAMIENTO Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS.

Para facilitar el diseño y tener una manera eficaz de valorar cada una de las alternativas, se subdividirá a la parte mecánica de la máquina en los sistemas que se listan a continuación:

- Sistema de sujeción y desbobinado.
- Sistema de frenado de la bobina.
- Sistema de guiado de la lámina PVC.
- Sistema de corte longitudinal.
- Sistema de arrastre de la lámina PVC.
- Sistema de corte transversal.
- Estructura soporte.

2.2.1. Planteamiento y estudio de las alternativas.

a. Sistemas de sujeción y desbobinado.

La función principal de este sistema es permitir el desbobinado de la bobina de PVC. Este sistema puede ser libre, es decir el desbobinado se produce únicamente debido a la tensión que genera el sistema de arrastre sobre la lámina PVC; o también puede accionarse mediante un motor, entonces el giro es producido mediante un motor que a través de un sistema de transmisión produce la rotación y desbobinado del rollo de PVC. Para este sistema se consideran las siguientes alternativas:

a.1. Sistema de sujeción y desbobinado por ejes neumáticos expansibles.

Los ejes neumáticos expansibles para bobinas proporcionan una sujeción firme y un centrado preciso para un desbobinado, bobinado y rebobinado equilibrado y correcto de la bobina.

Los ejes expansibles neumáticos disponen de una cámara interior que, al ser inflada neumáticamente, desplaza radialmente los expansores a lo largo de toda la longitud del eje. El resultado es un ensanchamiento efectivo del diámetro que permite sujetar firmemente la bobina, como se ilustra en la Figura 2.2.



Figura 2.2 Sujeción y desbobinado por ejes neumáticos expansibles.

Fuente: <http://www.comexigroup.com/slitters-rewinders/slitter-eturret.php>

Los ejes expansibles tienen aplicaciones en todos los sectores de la industria, destacando la industria del papel, imprenta, textil, plástico, etc.

Ventajas:

- Larga vida útil, bajo peso y menor deflexión.
- Mínima vibración y efecto del bote de la bobina.
- Excelente agarre y menor deslizamiento de los núcleos de las bobinas.
- Recomendados para aplicaciones de alta velocidad que requieren máximo torque.

Desventajas:

- Coste elevado.
- Poca existencia en el mercado local.

a.2. Sujeción y desbobinado por conos colineales.

Constituye un método bastante sencillo en el cual las bobinas se sujetan entre dos conos montados en ejes colineales como se puede visualizar en la Figura 2.3. Las dimensiones de los conos van de acuerdo con las medidas de los núcleos de las bobinas a utilizar ya que de esta manera se evita el efecto del cabeceo y vibración en dicha bobina. Los conos no dañan el diámetro interno de los núcleos de las bobinas así que estos pueden ser reutilizados. Conos escalonados acomodan diferentes tamaños de núcleos sin ningún esfuerzo.

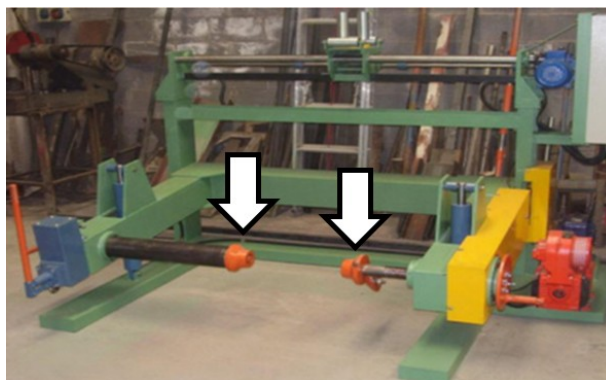


Figura 2.3 Sistema de sujeción y desbobinado por conos colineales.

Fuente: <http://www.cablemaq.com.ar/servicios.htm>.

Ventajas:

- Fácil construcción y coste relativamente bajo.
- No se requieren herramientas, cambios rápidos de bobinas.
- Poco mantenimiento.

Desventajas:

- Deslizamiento de los núcleos de la bobinas.
- Cabeceo de las bobinas en caso de que los ejes donde van montados los conos no se encuentren adecuadamente alineados.

a.3. Sujeción y desbobinado por ejes en voladizo.

Los ejes donde van montadas las bobinas poseen un punto de apoyo en cualquiera de sus extremos como se observa en la Figura 2.4. Se solicita que tanto diseño de dichos ejes como el de sus soportes sea bastante robusto con la finalidad de disminuir la deflexión. El empleo de este sistema está restringido a la utilización de bobinas de pequeño a mediano peso (50 Kg. por ejemplo) y en comparación con los sistemas descritos anteriormente la longitud de las bobinas a utilizar es menor.

Generalmente las bobinas pueden ser instaladas por el mismo operario de la máquina sin necesidad de un montacargas o de una grúa.



Figura 2.4 Sistema de sujeción y desbobinado por ejes en voladizo.

Fuente: <http://www.comexigroup.com/slitters-rewinders/slitter-eturret.php>.

b. Sistemas de frenado de la bobina.

Este sistema permite paralizar el desbobinado en el momento en que el arrastre de la lámina se detiene, evitando así el desenrollado no controlado de la bobina debido a la inercia.

Al proporcionar una tensión adecuada en la lámina se evita que se produzcan arrugas en la misma y se consigue un arrastre más preciso. Adicionalmente una lámina tensada facilita la penetración de cuchillas de corte a navaja. Para este sistema se contemplan las siguientes alternativas:

b.1. Sistema de frenado de banda.

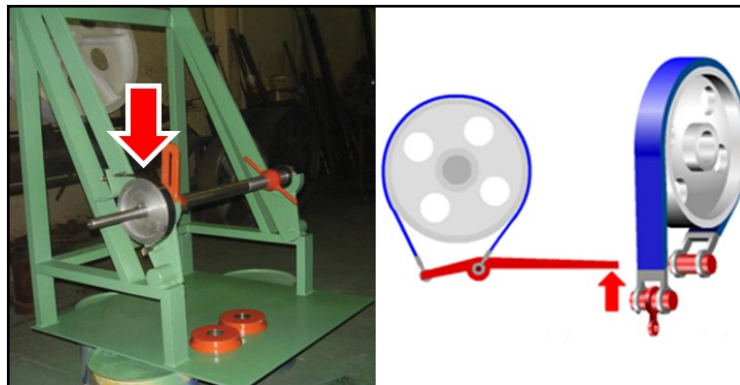


Figura 2.5 Sistema de frenado de banda.

Fuente: <http://www.cablemaq.com.ar/servicios.htm>.

Los frenos de banda son muy utilizados en la industria para frenar e inmovilizar partes en rotación, dada su simplicidad y seguridad. El objetivo es frenar un tambor acoplado a un eje como se puede ver en la Figura 2.5. El elemento de trabajo es una banda flexible, que rodea el tambor. Esta banda está recubierta con un material especial con alto coeficiente de fricción para aumentar la fuerza de frenado. Cuando se aplica una fuerza adecuada a la palanca, esta tenderá a girar en un pivote, y apretará la banda fuertemente contra el tambor para frenarlo.

b.2. Sistema de frenado de disco de zapata circular.

Como se puede visualizar en la Figura 2.6, en un freno de disco; una parte móvil (el disco) solidario con un eje que gira; es sometido al rozamiento de una superficie de alto coeficiente de fricción (la zapata) que ejerce sobre

ellos una fuerza suficiente como para transformar toda o parte de la energía cinética del eje en movimiento, en calor, hasta detenerlo o reducir su velocidad, según sea el caso.

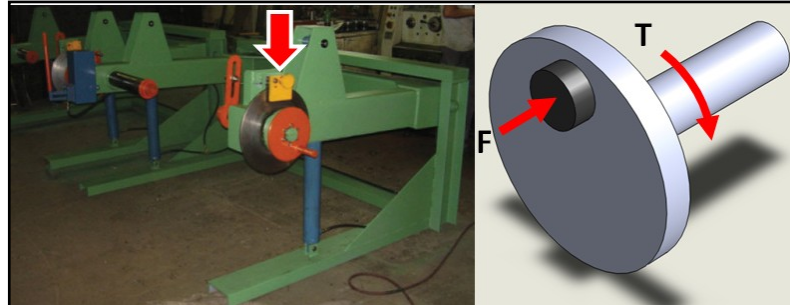


Figura 2.6 Sistema de frenado de disco de zapata circular.

Fuente: <http://www.cablemaq.com.ar/servicios.htm>.

b.3. Sistema de frenado por contrapesos.

Representa un sistema bastante eficaz, su simplicidad y costo relativamente bajo hace que se lo pueda emplear para aplicaciones principalmente en la industria del papel, plástico y textil. Como se puede ver en la Figura 2.7, su principio de funcionamiento es muy parecido al de un freno de banda.



Figura 2.7 Sistema de frenado por contrapesos.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

El único inconveniente a manejar con este tipo de sistemas es la aparición de electricidad estática, la cual provoca que tanto el polvo como pelusas se adhieran a la lámina o que la misma se fije a cualquier parte de la máquina y se produzcan atascamientos.

c. Sistema de guiado de la lámina PVC.

c.1. Sistema de guiado mediante rodillos.



Figura 2.8 Sistema de guiado mediante rodillos.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

Los rodillos guía se utilizan en máquinas de corte de lámina de plástico para remover arrugas, estabilizar dicha lámina y proporcionar una tensión uniforme a través de la máquina, lo cual permite minimizar la variación de direcciones cruzadas cuando la lámina ingresa a los sistemas de arrastre. La Figura 2.8 muestra una configuración de rodillos guía empleada en una máquina cortadora de film PVC.

d. Sistemas de arrastre de la lámina PVC.

Este sistema es el responsable de transportar la lámina de PVC a lo largo de toda la máquina, se tienen las siguientes alternativas:

d.1. Sistema de arrastre mediante rodillos vulcanizados.

Se trata del sistema de arrastre de láminas con mayor adaptación a distintos tipos de materiales. Consiste básicamente en dos rodillos generalmente fabricados en caucho natural (NR) o nitrilo (NBR) dependiendo del tipo de aplicación, que poseen núcleos de acero. En la Figura 2.9 se presenta como ejemplo un par de máquinas que utilizan un sistema de arrastre mediante rodillos vulcanizados.

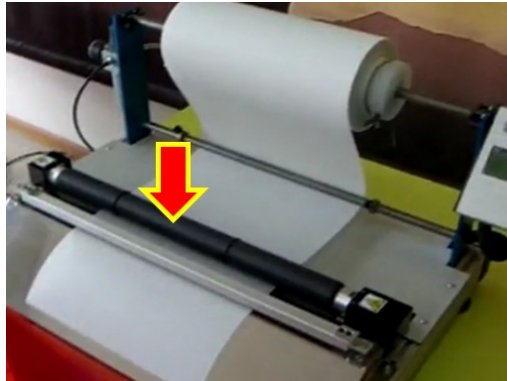


Figura 2.9 Sistema de arrastre mediante rodillos vulcanizados.

Fuente: <http://www.youtube.com/watch?v=HKEyex3oCac>.

El arrastre de la lámina se produce debido a que al entrar estos dos rodillos en contacto con el material se produce una fuerza normal entre ambos. Al dar movimiento a los rodillos la fuerza normal genera una fuerza de rozamiento en cada superficie del material, que es la que arrastra a la lámina.

d.2. Sistema de arrastre mediante bandas transportadoras.

Este sistema presenta características similares al sistema anterior, con la diferencia de que se utilizan dos bandas transportadoras que entran en contacto con las superficies del material, como se puede visualizar en la Figura 2.10. Aunque con este método se consigue un agarre mucho más uniforme de la lámina, su uso no es tan difundido a nivel industrial como es el caso de los rodillos vulcanizados.



Figura 2.10 Sistema de arrastre mediante bandas transportadoras.

Fuente: http://www.youtube.com/watch?v=_q2LomtoNGE.

e. Sistemas de corte longitudinal.

Para corte longitudinal de film PVC se emplean diferentes métodos, cada uno de ellos se caracteriza por el tipo de cuchillas que utiliza y estas se distinguen especialmente por su forma geométrica y filo de corte.

e.1. Sistema de corte por cuchillas planas.

Es un sistema sencillo, barato y puede adaptarse a cualquier tipo de máquina en cualquier ubicación, es potencialmente el método más limpio dependiendo del tipo de material a cortar. La acción de corte es generada al arrastrar el material a través de una cuchilla plana estacionaria, como se puede distinguir en la Figura 2.11.



Figura 2.11 Sistema de corte por cuchillas planas.

Fuente: <http://www.comexigroup.com/slitters-rewinders/slitter-eturret.php>.

Como desventajas se tienen la vida útil de la hoja y la seguridad. Debido a que una porción muy pequeña de la hoja afilada se inserta en la zona de corte, el desgaste del filo es rápido.

e.2. Sistema de corte por cuchillas circulares a presión.

Este sistema es más complejo que el sistema de corte con cuchillas planas, requiere de la instalación de un rodillo endurecido y un sistema de cuchillas circulares, como se aprecia en la Figura 2.12.

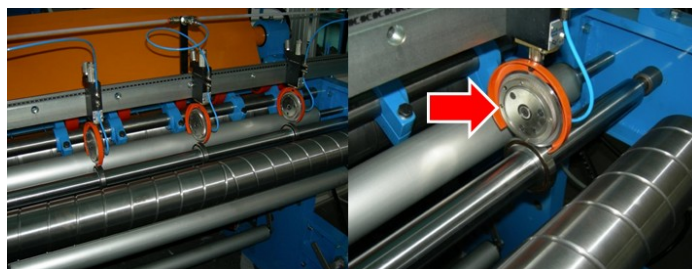


Figura 2.12 Sistema de corte por cuchillas circulares a presión.

Fuente: <http://www.sheeters-machines-cavalleri.com/products/embosserrewinder/>.

El corte ocurre al presionar el film entre el rodillo endurecido y las cuchillas creando el efecto guillotina. Este método de corte produce demasiada rebaba y los acabados de los bordes son de baja calidad. La vida útil de las cuchillas es baja.

e.3. Sistema de corte por cuchillas circulares a tijera.

Es el método más versátil y puede acomodarse a una amplia variedad de materiales que cualquier otro método. Esta técnica crea un esfuerzo de corte en el material cuando éste pasa entre dos discos rotatorios (la cuchilla y la contracuchilla).

Como se muestra en la Figura 2.13, la banda o lámina de PVC debe pasar tangente a los discos rotatorios los cuales deben estar configurados correctamente para obtener buenos resultados de corte.

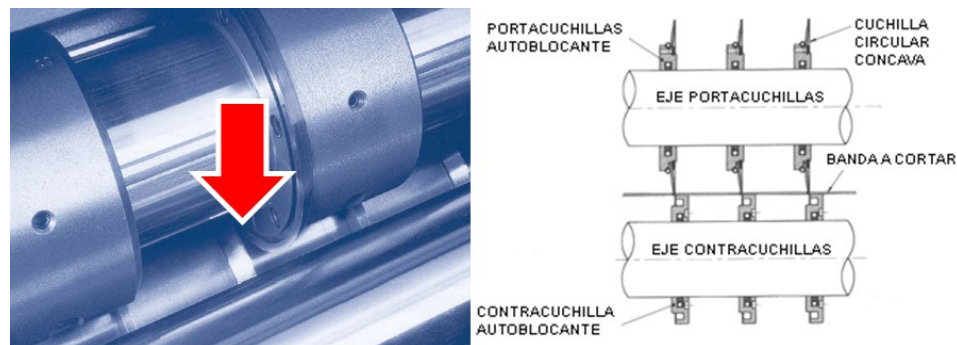


Figura 2.13 Sistema de corte por cuchillas circulares a tijera.

Fuente: <http://www.linotype.es/PDF%20maquinas/Kolbus/PK%20170.pdf>.

Como inconvenientes se tiene la complejidad al variar el ancho de corte, precisión en la configuración del corte y desgaste de las cuchillas. Cuando se varía el ancho de corte es necesario ajustar tanto las cuchillas como las contracuchillas, este trabajo requiere de habilidad y precisión del operador para evitar pérdidas de tiempo.

f. Sistema de corte transversal.

Dentro de este sistema se utilizan algunos métodos los cuales se diferencian entre sí principalmente en la geometría de las cuchillas de corte. Se plantean las siguientes alternativas:

f.1. Sistema de corte por cizalla.

Es el método más empleado a nivel industrial ya que puede satisfacer una amplia gama de aplicaciones (acero, papel, plásticos, etc.). Como se puede visualizar en la Figura 2.14, este sistema está constituido básicamente por dos cuchillas montadas sobre bases (una base fija y una base móvil). Los filos de las cuchillas poseen un ángulo de filo, el cual depende del material a cortar. Para realizar un corte, se posiciona el material entre las dos cuchillas, al hacer cruzar bastante cerca la cuchilla móvil frente a la fija se provoca una separación por medio de una fuerza continua.

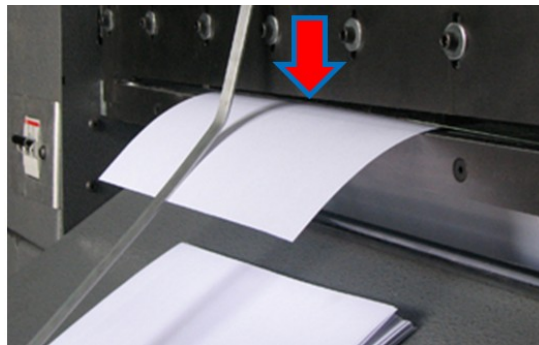


Figura 2.14 Sistema de corte por cizalla.

Fuente: <http://www.egomexico.com/030.htm>.

Si bien para realizar el corte ambas cuchillas se instalan paralelamente, existe otra variante donde se le proporciona un ángulo de corte a la cuchilla móvil ocasionando un efecto tijera.

f.2. Sistema de corte por cizalla rotativa.

Como se ilustra en la Figura 2.15, el corte se efectúa mediante cuchillas rotativas de corte sincronizado que son las que determinan la longitud de corte. Esto se realiza haciendo pasar la banda de plástico a través de unos tambores portacuchillas (uno superior y otro inferior ambos rotativos) los cuales se regulan antes de la puesta en marcha.

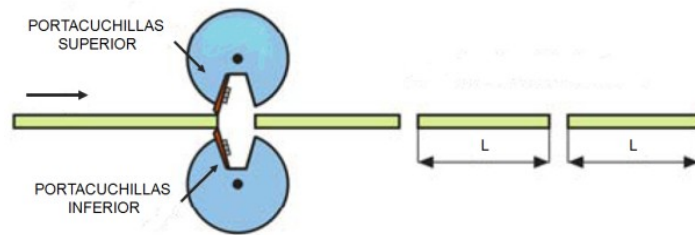


Figura 2.15 Sistema de corte por cizalla rotativa.

Fuente:

<http://www.torraspapel.com/Conocimiento%20Tcnico/FormacionFabricacionPapel.pdf>

Las cuchillas van montadas en los tambores y fijadas mediante tornillos con un ajuste preciso para que en el momento del corte no choque la cuchilla superior con la inferior. En la Figura 2.16 se muestra el montaje de las cuchillas en el tambor portacuchillas.

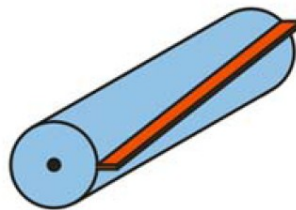


Figura 2.16 Inclinación de la cuchilla en el tambor portacuchillas.

Fuente:

<http://www.torraspapel.com/Conocimiento%20Tcnico/FormacionFabricacionPapel.pdf>

La longitud de corte se fija con la velocidad de la cuchilla rotativa, es decir, el tambor debe dar una vuelta completa en el mismo tiempo en que la lámina recorre la longitud de corte deseada. De este modo, cada vez que el tambor desarrolle una vuelta completa, la cuchilla realizará un corte a una determinada longitud. El corte de la banda se produce al girar al unísono los dos tambores portacuchillas (superior e inferior).

f.3. Sistema de corte por cuchilla con filo tipo V.

Este sistema está constituido principalmente de una cuchilla cuyo filo de corte forma una geometría tipo V. Para ejecutar el corte, un mecanismo denominado pisador sujeta el film sobre una mesa, luego la cuchilla montada en una base móvil se desplaza horizontalmente y va rasgando el material con su filo de corte. Un ejemplo de máquinas que utilizan este sistema de corte es el mostrado en la Figura 2.17.



Figura 2.17 Sistema de corte por cuchilla con filo tipo V.

Fuente: https://www.youtube.com/watch?v=Mx4t1_RCsMs

g. Estructura soporte.

g.1. Estructura de perfiles de acero.

Una estructura compacta formada por perfiles de acero permite enlazar y organizar todos los sistemas que componen la máquina, empezando desde la sujeción y desbobinado del rollo, hasta el corte transversal del film PVC.

2.2.2. Parámetros y factores de incidencia para la valoración de alternativas.

Para la evaluación de alternativas se consideran los parámetros indicados en la Tabla 2.1 simultáneamente con sus factores de incidencia.

Tabla 2.1 Parámetros y factores de incidencia.

| PARÁMETROS DE EVALUACIÓN | FACTOR DE INCIDENCIA (F/1) |
|--------------------------|----------------------------|
| Costo. | 0,30 |
| Operación y control. | 0,15 |
| Mantenimiento. | 0,18 |
| Funcionalidad. | 0,25 |
| Fabricación y montaje. | 0,12 |
| Total. | 1,00 |

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

La valoración se realiza sobre diez puntos, los cuales se multiplican por el correspondiente factor de incidencia de acuerdo a la importancia de cada parámetro de evaluación.

2.2.3. Selección de alternativas.

A continuación se destacan las alternativas elegidas para cada sistema de la máquina fundamentadas en los parámetros de evaluación antes descritos y sus factores de incidencia.

a. Selección del sistema de sujeción y desbobinado.

La Tabla 2.2 muestra la selección del sistema de sujeción y desbobinado.

Alternativas:

- 1) Sistema de sujeción y desbobinado por ejes neumáticos expansibles.
- 2) Sistema de sujeción y desbobinado por conos colineales.
- 3) Sistema de sujeción y desbobinado por ejes en voladizo.

Tabla 2.2 Selección del sistema de sujeción y desbobinado.

| PARÁMETROS | FACTOR DE INCIDENCIA | ALTERNAT. 1 | | ALTERNAT. 2 | | ALTERNAT. 3 | |
|-----------------------|----------------------|-------------|------|-------------|----------|-------------|------|
| | | P/10 | CAL. | P/10 | CAL. | P/10 | CAL. |
| Costo | 0,30 | 5 | 1,5 | 10 | 3 | 9 | 2,7 |
| Operación y control | 0,15 | 7 | 1,05 | 9 | 1,35 | 7 | 1,05 |
| Mantenimiento | 0,18 | 8 | 1,44 | 9 | 1,62 | 10 | 1,8 |
| Funcionalidad | 0,25 | 10 | 2,5 | 9 | 2,25 | 8 | 2 |
| Fabricación y montaje | 0,12 | 6 | 0,72 | 8 | 0,96 | 9 | 1,08 |
| Evaluación | | | 7,21 | | 9,18 | | 8,63 |
| SELECCIÓN | | | | | X | | |

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

b. Selección del sistema de frenado de la bobina.

En la Tabla 2.3 se presenta la selección del sistema de frenado de la bobina.

Alternativas:

- 1) Sistema de frenado de banda.
- 2) Sistema de frenado de disco de zapata circular.
- 3) Sistema de frenado por contrapesos.

Tabla 2.3 Selección del sistema de frenado de la bobina.

| PARÁMETROS | FACTOR DE INCIDENCIA | ALTERNAT. 1 | | ALTERNAT. 2 | | ALTERNAT. 3 | |
|-----------------------|----------------------|-------------|------|-------------|----------|-------------|------|
| | | P/10 | CAL. | P/10 | CAL. | P/10 | CAL. |
| Costo | 0,30 | 6 | 1,8 | 8 | 2,4 | 10 | 3 |
| Operación y control | 0,15 | 9 | 1,35 | 9 | 1,35 | 6 | 0,9 |
| Mantenimiento | 0,18 | 8 | 1,44 | 9 | 1,62 | 7 | 1,26 |
| Funcionalidad | 0,25 | 9 | 2,25 | 9 | 2,25 | 7 | 1,75 |
| Fabricación y montaje | 0,12 | 7 | 0,84 | 8 | 0,96 | 9 | 1,08 |
| Evaluación | | | 7,68 | | 8,58 | | 7,99 |
| SELECCIÓN | | | | | X | | |

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

c. Selección del sistema de arrastre.

La Tabla 2.4 muestra la selección del sistema de arrastre.

Alternativas:

- 1) Sistema de arrastre mediante rodillos vulcanizados.
- 2) Sistema de arrastre mediante bandas transportadoras.

Tabla 2.4 Selección del sistema de arrastre.

| PARÁMETROS | FACTOR DE INCIDENCIA | ALTERNAT. 1 | | ALTERNAT. 2 | |
|-----------------------|----------------------|-------------|----------|-------------|------|
| | | P/10 | CAL. | P/10 | CAL. |
| Costo | 0,30 | 8 | 2,4 | 7 | 2,1 |
| Operación y control | 0,15 | 10 | 1,5 | 8 | 1,2 |
| Mantenimiento | 0,18 | 9 | 1,62 | 7 | 1,26 |
| Funcionalidad | 0,25 | 9 | 2,25 | 9 | 2,25 |
| Fabricación y montaje | 0,12 | 10 | 1,2 | 8 | 0,96 |
| Evaluación | | | 8,97 | | 7,77 |
| SELECCIÓN | | | X | | |

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

d. Selección del sistema de corte longitudinal.

En la Tabla 2.5 se presenta la selección del sistema de corte longitudinal.

Alternativas:

- 1) Sistema de corte por cuchillas planas.
- 2) Sistema de corte por cuchillas circulares a presión.
- 3) Sistema de corte por cuchillas circulares a tijera.

Tabla 2.5 Selección del sistema de corte longitudinal.

| PARÁMETROS | FACTOR DE INCIDENCIA | ALTERNAT. 1 | | ALTERNAT. 2 | | ALTERNAT. 3 | |
|-----------------------|----------------------|-------------|----------|-------------|------|-------------|------|
| | | P/10 | CAL. | P/10 | CAL. | P/10 | CAL. |
| Costo | 0,30 | 10 | 3 | 9 | 2,7 | 6 | 1,8 |
| Operación y control | 0,15 | 10 | 1,5 | 9 | 1,35 | 7 | 1,05 |
| Mantenimiento | 0,18 | 10 | 1,8 | 6 | 1,08 | 6 | 1,08 |
| Funcionalidad | 0,25 | 10 | 2,5 | 9 | 2,25 | 10 | 2,5 |
| Fabricación y montaje | 0,12 | 10 | 1,2 | 9 | 1,08 | 7 | 0,84 |
| Evaluación | | | 10 | | 8,46 | | 7,27 |
| SELECCIÓN | | | X | | | | |

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

e. Selección del sistema de corte transversal.

La Tabla 2.6 muestra la selección del sistema de corte transversal.

Alternativas:

- 1) Sistema de corte por cizalla.
- 2) Sistema de corte por cizalla rotativa.
- 3) Sistema de corte por cuchilla con filo tipo V.

Tabla 2.6 Selección del sistema de corte transversal.

| PARÁMETROS | FACTOR DE INCIDENCIA | ALTERNAT. 1 | | ALTERNAT. 2 | | ALTERNAT. 3 | |
|-----------------------|----------------------|-------------|------|-------------|------|-------------|----------|
| | | P/10 | CAL. | P/10 | CAL. | P/10 | CAL. |
| Costo | 0,30 | 8 | 2,4 | 7 | 2,1 | 10 | 3 |
| Operación y control | 0,15 | 9 | 1,35 | 8 | 1,2 | 10 | 1,5 |
| Mantenimiento | 0,18 | 7 | 1,26 | 8 | 1,44 | 9 | 1,62 |
| Funcionalidad | 0,25 | 9 | 2,25 | 7 | 1,75 | 10 | 2,5 |
| Fabricación y montaje | 0,12 | 7 | 0,84 | 6 | 0,72 | 10 | 1,2 |
| Evaluación | | | 8,1 | | 7,21 | | 9,82 |
| SELECCIÓN | | | | | | | X |

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

2.3. DISEÑO MECÁNICO.

En esta sección se desarrolla el diseño de cada uno de los sistemas que forman la máquina cortadora. Primeramente se partirá de una idea preliminar, la misma que se irá corrigiendo y mejorando durante la etapa de diseño, hasta llegar al diseño definitivo y obtener así las dimensiones, formas y perfiles estructurales más apropiados.

Se realizará un estudio estático basado en la teoría de la energía de la distorsión en los ensambles que conforman la máquina, para ello se hará uso de ciertos complementos que corren integrados a SolidWorks y utilizan técnicas de análisis por elementos finitos.

Para comprobar la veracidad del software a utilizar, se diseñará uno de los sistemas de la máquina empleando ciertas ecuaciones de diseño mecánico, posteriormente se realizará una comparación entre ambos resultados.

2.3.1. Velocidad lineal de operación de la máquina.

Actualmente en la empresa, un operario con experiencia logra cortar 150 tiras/h, para el diseño de la máquina se ha fijado una cantidad de 400 tiras/h (o bien 400 ciclos). Las tiras de PVC a cortar tienen una longitud variable de acuerdo con los tamaños de los productos a fabricar. Para el diseño de la máquina se toma la longitud de la tira más grande es decir 650 mm.

Se comienza por conocer las variables que intervienen en tiempo total de corte.

$$TTC = TCT_T + TACC + TAR_T. \quad EC. 2.1$$

Donde:

TTC : Tiempo Total de Corte [seg]: 3600 seg.

TCT_T : Tiempo de Corte Transversal Total [seg].

$TACC$: Tiempo de Accesorios [seg].

TAR_T : Tiempo de Arrastre Total [seg].

- TTC (Tiempo Total de Corte).

Es el tiempo destinado a realizar el corte de las 400 tiras. (1 hora).

- TCT_T (Tiempo de Corte Transversal Total).

Es el tiempo destinado para el corte transversal, y se calcula con:

$$TCT_T = (TCT_p + T_f) \cdot m. \quad EC. 2.2$$

Donde:

TCT_p : *Tiempo de Corte Transversal por Ciclo*. Es el tiempo destinado a un ciclo de corte por medio de la cuchilla con filo tipo V. (Se fija en 1,5 seg.)

T_f : *Tiempo de Fijación del film PVC*. Es el tiempo destinado a un ciclo de operación del mecanismo pisador para la sujeción de la lámina PVC. (Se fija en 1,5 seg.)

m : Número de cortes a realizarse. (Se tienen 400 cortes)

$$TCT_T = (1,5 + 1,5) \text{ seg} \cdot 400 = 1200 \text{ seg.}$$

- **TACC (Tiempo de Accesorios).**

Es el tiempo destinado para las actividades de calibración de la máquina. Entre estas actividades tenemos: el montaje del rollo, tejido de la lámina PVC entre la configuración de rodillos guía, posicionamiento de las cuchillas de corte longitudinal, escritura de parámetros en el OP (Panel Operador), etc. (Se consideran 10 min).

- **TAR_T (Tiempo de Arrastre Total).**

Es el tiempo destinado al arrastre del film PVC y será función de este tiempo la velocidad lineal requerida en los rodillos de arrastre. A su vez para encontrar su valor se despeja de la ecuación (EC.2.1.)

$$TAR_T = TTC - TCT_T - TACC.$$

$$TAR_T = 3600 \text{ seg} - 1200 \text{ seg} - 600 \text{ seg} = 1800 \text{ seg} = 30 \text{ min.}$$

La velocidad lineal de los rodillos de arrastre se calcula con:

$$v_{PVC} = \frac{l_T}{TAR_T}. \quad EC.2.3$$

Donde:

l_T : Longitud de Arrastre Total [mm].

La longitud de arrastre total se encuentra con la ecuación:

$$l_T = l_p \cdot m. \quad EC.2.4$$

Siendo:

l_p : Longitud de Arrastre por Ciclo. Es la longitud de la tira más larga a cortar. (Se tiene 650 mm)

Reemplazando los valores en la ecuación (EC.2.4) se tiene:

$$l_T = 650 \text{ mm} \cdot 400 = 260 \text{ m}.$$

Finalmente la velocidad de los rodillos de arrastre y por ende la de la lámina PVC a lo largo de la máquina de acuerdo con la ecuación (EC.2.3) es:

$$v_{PVC} = \frac{260 \text{ m}}{30 \text{ min}} = 8,7 \frac{\text{m}}{\text{min}}.$$

Para efectos de diseño se toma una velocidad de:

$$v_{PVC} = 10 \frac{\text{m}}{\text{min}} = 0,167 \frac{\text{m}}{\text{seg}}.$$

2.3.2. Diseño del sistema de sujeción y desbobinado.

La bobina de PVC se sujeta entre dos conos posicionados en forma colineal. Cada cono forma parte de mecanismos con diseños diferentes como se puede apreciar en la Figura 2.18.

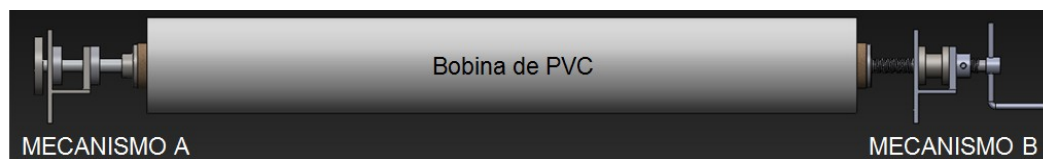


Figura 2.18 Montaje de la bobina en los mecanismos del sistema de sujeción y desbobinado.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

Por un extremo de la bobina se tiene el mecanismo A, el cual consta principalmente de un eje montado sobre un par de rodamientos, a la vez ambos rodamientos se acoplan a casquillos fijos como se muestra en la Figura 2.19.

También un tambor giratorio sujetado a la parte posterior del eje, recibe la fuerza de accionamiento de la zapata del sistema de frenado y control de tensión de la bobina.

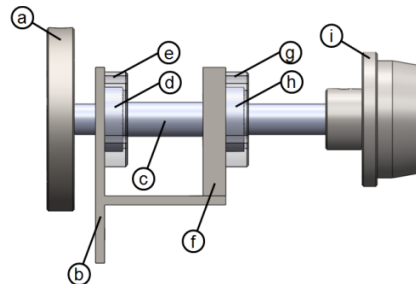


Figura 2.19 Mecanismo A - sistema de sujeción y desbobinado.

- a) Tambor giratorio, b) Base - mecanismo A, c) Eje - mecanismo A, d) Rodamiento 6004, e) Casquillo 6004, f) Apoyo - mecanismo A, g) Casquillo 7204, h) Rodamiento 7204, i) Cono - mecanismo A.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

Por el otro extremo de la bobina se tiene el mecanismo B, donde el cono gira libremente al ir acoplado sobre un rodamiento, además para sujetar la bobina dicho cono debe desplazarse linealmente y penetrar en el núcleo. El movimiento lineal requerido en el cono se consigue al fijar su rodamiento al extremo de un tornillo, el cual a su vez se monta en una tuerca fija a una base. En la Figura 2.20 se muestran los elementos que forman el mecanismo B.

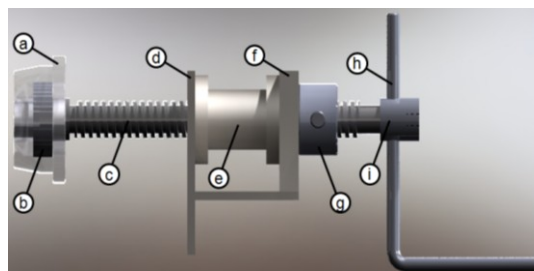


Figura 2.20 Mecanismo B - sistema de sujeción y desbobinado.

- a) Cono - mecanismo B, b) Rodamiento 6205, c) Tornillo, d) Base - mecanismo B, e) Tuerca, f) Apoyo - mecanismo B, g) Contratuerca, h) Manivela, i) Acople.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

Al girar una manivela sujeta al tornillo se consigue el avance o retroceso del cono y para asegurarse que dicho tornillo permanezca inmóvil una vez que la máquina entre en funcionamiento se dispone de una contratuerca.

a. Determinación de las cargas.

Las cargas principales a tener en cuenta dentro de este sistema son:

- Cargas muertas (Acción de la gravedad).
- Peso máximo de la bobina de PVC (W_b).
- Fuerza total de accionamiento de la zapata circular (F_f) ejercida sobre el tambor giratorio del mecanismo A.

La bobina de PVC tiene una masa de 45 Kg, entonces su peso es:

$$W_b = m_{PVC} \cdot g. \quad EC.2.5$$

$$W_b = 45 \text{ Kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2} = 441,5 \text{ N}.$$

El peso de la bobina de PVC se distribuye por igual entre ambos conos del sistema de desbobinado, entonces cada cono recibe una fuerza ($W_{b/2} = 220,75 \text{ N}$).

La fuerza total de accionamiento de las zapatas circulares (F_f) se ejerce sobre el tambor giratorio del mecanismo A con la finalidad de controlar el giro de la bobina durante el arrastre del material, dicha fuerza provoca un esfuerzo de compresión, que al compararse con el esfuerzo por flexión resulta despreciable.

b. Dimensionamiento y modelado de los componentes del mecanismo A.

b.1. Cono - mecanismo A.

En la Figura 2.21 se ilustra el cono del mecanismo A, cuya forma y dimensiones se definen a partir de las medidas del núcleo de la bobina de PVC.



Figura 2.21 Cono - mecanismo A.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

Mediante la modelación en SolidWorks y una vez asignado como material el acero recocido AISI 1018 ($S_y=235$ MPa) se determina que dicho componente posee una masa de 1,58 Kg, es decir ($W_c=15,5$ N). El Anexo A2 muestra las propiedades mecánicas del acero recocido AISI 1018.

b.2. Tambor giratorio.

El tambor giratorio toma la forma indicada en la Figura 2.22, también se le asigna como material un acero ASTM A 36 ($S_y=250$ MPa).



Figura 2.22 Tambor giratorio.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

Luego de modelar y asignar el material antes descrito, se determina que esta pieza posee una masa de 1,2 Kg, es decir ($W_{Tg}=11,5$ N).

b.3. Eje - mecanismo A.

Este eje se monta sobre un par de rodamientos en las secciones A y B, además se utiliza un acero recocido AISI 1018 para su fabricación. En la Figura 2.23 se muestra el diagrama de cargas sobre este componente.

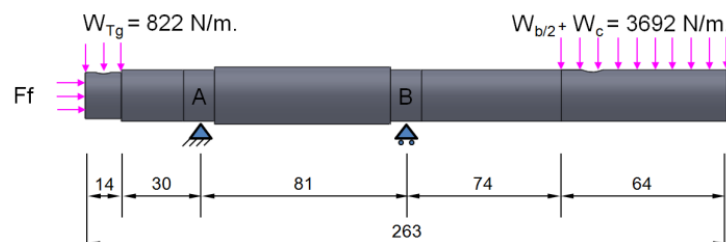


Figura 2.23 Diagrama de cargas en el Eje - mecanismo A.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

Al analizar la Figura 2.23 se define que el eje del mecanismo A está sometido a un esfuerzo de flexión provocado por la sumatoria de las cargas (W_{Tg} , $W_{b/2}$ y W_c), y un esfuerzo de compresión ocasionado por la fuerza total de accionamiento de las zapatas circulares (Ff), sin embargo, el que produce las mayores tensiones es el esfuerzo normal por flexión.

Mediante el diagrama de fuerza cortante y momento flector del Anexo J, se asegura que la zona crítica del eje se sitúa en la sección B, entonces el esfuerzo por flexión en esta posición se calcula a través de la ecuación [5]:

$$\sigma_x = \sigma_{flex} = \frac{Mmax}{S}. \quad EC.2.6$$

Donde:

σ_x : Esfuerzo normal debido a la flexión.

$Mmax$: Momento flector máximo [N.mm].

S : Modulo de sección.

El módulo de sección de una circunferencia se determina a partir de la expresión [5]:

$$S = \frac{\pi \cdot d^3}{32}. \quad EC.2.7$$

Entonces, reemplazando la ecuación (EC.2.7) en la ecuación (EC.2.6), se tiene:

$$\sigma_x = \frac{32 \cdot Mmax}{\pi \cdot d^3}. \quad EC.2.8$$

Al existir solamente un esfuerzo normal, los esfuerzos principales son:

$$\sigma_1 = \sigma_x; \sigma_2 = 0.$$

De acuerdo a la teoría de la energía de la distorsión, el esfuerzo de Von Mises es:

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1\sigma_2} = \sigma_1 = \sigma_x. \quad EC.2.9$$

Donde:

σ' : Esfuerzo de Von Mises.

Pero también se conoce que [6]:

$$\sigma' = \frac{S_y}{FS}. \quad EC.2.10$$

Entonces como $\sigma' = \sigma_x$, igualando la ecuación (EC.2.8) con la ecuación (EC.2.10), se tiene:

$$\frac{S_y}{FS} = \frac{32 \cdot Mmax}{\pi \cdot d^3}.$$

Y finalmente:

$$d_B = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot FS \cdot Mmax}{\pi \cdot S_y}}. \quad EC.2.11$$

Donde:

d_B : Diámetro requerido en la sección B [mm].

FS : Factor de Seguridad.

$Mmax$: Momento flector máximo [N.mm].

S_y : Límite de fluencia del material [N/mm²].

Reemplazando los valores del momento flector máximo del Anexo J, el límite de fluencia del acero recocido AISI 1018, un Factor de Seguridad ($FS=3$) en la ecuación (EC.2.11); se determina que el diámetro requerido en la zona crítica es:

$$d_B = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 3 \cdot 25046,5}{\pi \cdot 235}} = 15,23 \text{ mm}.$$

Dado que las secciones A y B del eje se montan sobre rodamientos, se seleccionan un diámetro estándar de 20 mm para ambas secciones, con lo cual en la sección B se consigue un Factor de Seguridad de:

$$FS = \frac{(d_B)^3 \cdot \pi \cdot S_y}{32 \cdot Mmax} = 7,36.$$

Una vez que se ha modelado el eje del mecanismo A, se le asigna como material el acero recocido AISI 1018 además de las cargas y restricciones de acuerdo a la Figura 2.23. Finalmente se ejecuta el análisis de esfuerzos en SolidWorks Simulation, donde se obtienen los siguientes resultados:

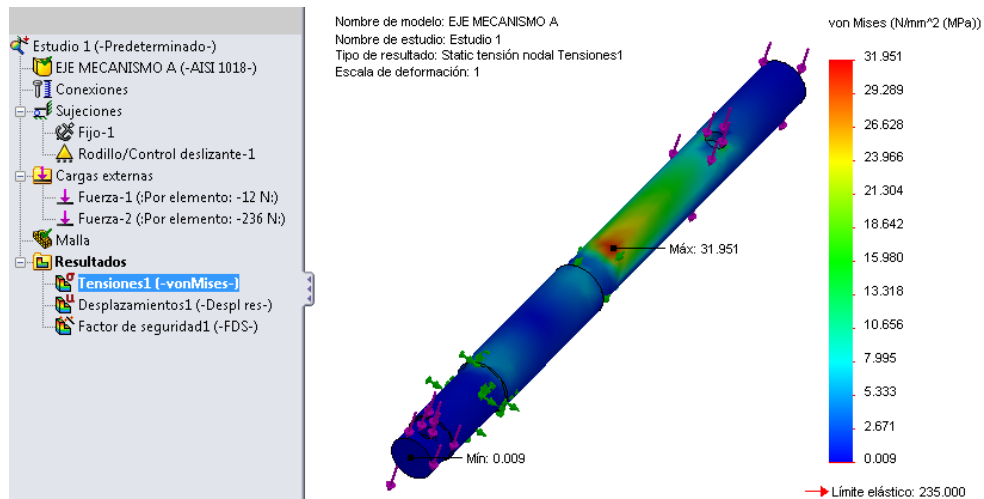


Figura 2.24 Tensiones de Von Mises Eje - mecanismo A.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

Como se aprecia en la Figura 2.24, la máxima Tensión de Von Mises ocurre en una posición cercana a la sección B con un valor de 31,951 MPa, sin embargo, esta tensión es menor que el límite de fluencia del material asignado (acero recocido AISI 1018), lo cual garantiza que este componente resiste sin fallar.

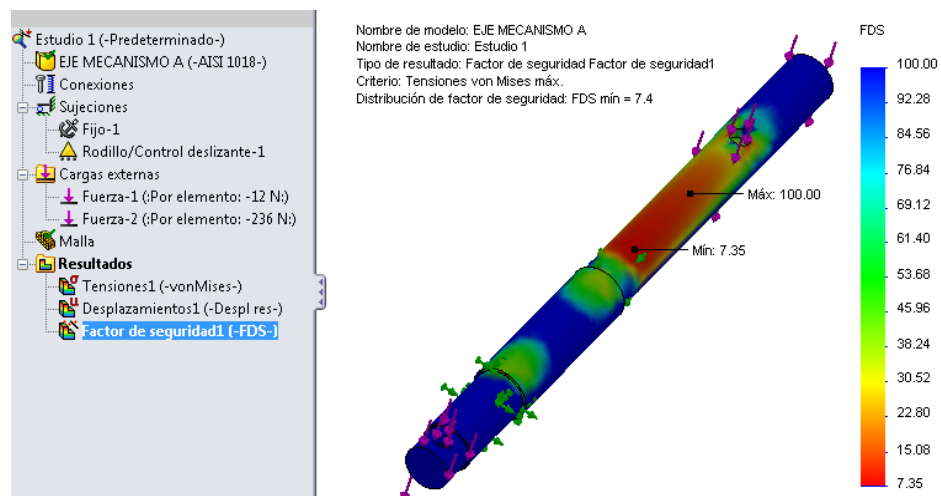


Figura 2.25. Factor de Seguridad Eje - mecanismo A.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

Conforme a la Figura 2.25, el Factor de Seguridad mínimo obtenido a través de SolidWorks es 7,35 mientras tanto el valor calculado fue de 7,36; al comparar ambos resultados se comprueba la veracidad del software utilizado para el diseño.

b.4. Rodamientos - mecanismo A.

En el rodamiento de la sección A del eje de la Figura 2.23 se conocen los siguientes datos:

- $L_{10h}=30000$ h. (Según el Anexo D1).
- $P=292,5$ N. (Carga radial, reacción en el punto A según el Anexo J)
- $p=3$.

Este rodamiento gira a la velocidad de rotación de la bobina, por lo cual considerando que la bobina al iniciar el desbobinado tiene un radio (r_b) de 0,1 m y la velocidad lineal de operación de la maquina es de 10 m/min (0,167 m/s), se obtiene una velocidad de rotación (n_{sd}) de:

$$\omega_{sd} = \frac{v_{PVC}}{r_b}. \quad EC.2.12$$

$$\omega_{sd} = \frac{0,167 \frac{m}{seg}}{0,1 m} = 1,67 \frac{rad}{seg}.$$

$$\therefore n_{sd} = 15,95 \text{ rpm}.$$

Reemplazando los valores anteriores en la ecuación (EC.1.9), la capacidad de carga dinámica (Cr) es:

$$Cr = 292,5 \cdot \left(\frac{30000 \cdot 60 \cdot 15,95}{1000000} \right)^{\frac{1}{3}} = 895,6 \text{ N}.$$

De acuerdo al catálogo general de rodamientos SKF (Ver el Anexo D2), para un diámetro de la sección A (20 mm), se selecciona un rodamiento rígido de una hilera de bolas 6004.

En el rodamiento de la sección B del eje se conocen los siguientes datos:

- $L_{10h}=30000$ h. (Según el Anexo D1).

- $P = 540,3$ N. (Carga radial, reacción en el punto B según el anexo J). Si bien sobre este rodamiento también se ejerce una fuerza axial, esta no se toma en cuenta debido a que $(F_A/F_R \leq 1,14)$ [22].
- $p = 3$.
- $n_{sd} = 15,95$ rpm.

Reemplazando los valores correspondientes en la ecuación (EC.1.9), la capacidad de carga dinámica (C_r) es:

$$C_r = 540,3 \cdot \left(\frac{30000 \cdot 60 \cdot 15,95}{1000000} \right)^{\frac{1}{3}} = 1654,4 \text{ N.}$$

De acuerdo al catálogo general de rodamientos SKF (Ver el Anexo D3), para un diámetro de la sección B (20 mm), se selecciona un rodamiento de bolas de contacto angular 7204.

b.5. Casquillos.

Para alojar los rodamientos del eje del mecanismo A se precisa de un par de casquillos, los cuales poseen las geometrías presentadas en la Figura 2.26. Las dimensiones de ambos casquillos se establecen a partir de las especificaciones técnicas de los rodamientos.



Figura 2.26 Casquillos - mecanismo A.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

b.6. Base y apoyo mecanismo A.

Tanto la base como el apoyo soportan el peso de todos los componentes del mecanismo A y las reacciones de las fuerzas que cada componente genera, por consiguiente, para facilitar el montaje se precisan las formas mostradas en la Figura 2.27.

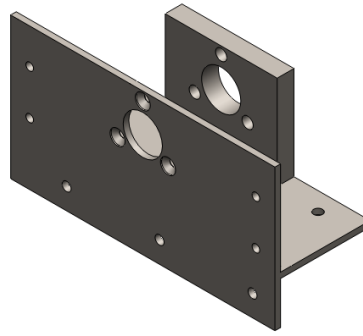


Figura 2.27 Base y apoyo - mecanismo A.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

c. Simulación y análisis de esfuerzos del mecanismo A.

Una vez que se ha modelado y optimizado cada uno de los componentes del mecanismo A, se utilizan diferentes relaciones de posición hasta obtener el ensamble de la Figura 2.28.

La creación del ensamble en SolidWorks permite determinar posibles interferencias entre los componentes para posteriormente ejecutar el análisis de esfuerzos.

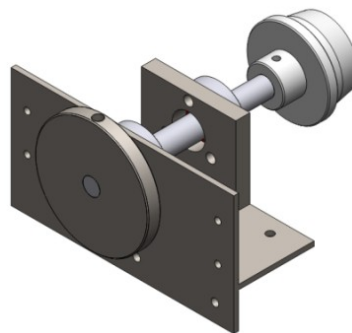


Figura 2.28 Ensamble mecanismo A.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

c.1. Asignación de materiales.

Se asignan los materiales correspondientes a cada componente del mecanismo A de acuerdo a la Tabla 2.7.

Tabla 2.7 Materiales asignados a componentes del mecanismo A.

| N° | Nombre del componente sólido | Material |
|----|------------------------------|-----------|
| 1 | BASE - MECANISMO A. | ASTM A 36 |
| 2 | CASQUILLO 6004. | AISI 1018 |
| 3 | RODAMIENTO 6004. | - |
| 4 | EJE - MECANISMO A. | AISI 1018 |
| 5 | CONO - MECANISMO A. | AISI 1018 |
| 6 | TAMBOR GIRATORIO. | ASTM A 36 |
| 7 | RODAMIENTO 7204. | - |
| 8 | CASQUILLO 7204. | AISI 1018 |
| 9 | APOYO - MECANISMO A. | ASTM A 36 |

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

c.2. Asignación de cargas y restricciones.

Conforme a las cargas establecidas anteriormente y considerando las zonas donde se sujeta el mecanismo A, se asignan las cargas y restricciones indicadas en la Figura 2.29. También se aprovecha las ventajas que nos ofrece el Software al simular uniones atornilladas y empennadas.

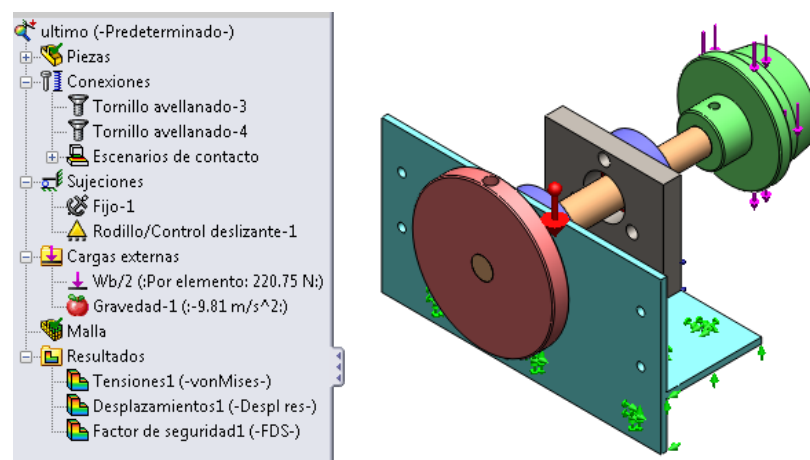


Figura 2.29 Asignación de cargas y restricciones - mecanismo A.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

c.3. Mallado y ejecución del estudio de diseño.

Luego de asignar las cargas y restricciones apropiadas se realiza el mallado del ensamble como se aprecia en la Figura 2.30 y se ejecuta el estudio de diseño.

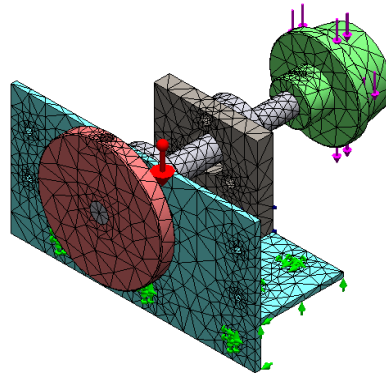


Figura 2.30 Mallado - mecanismo A.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

c.4. Resultados.

Como se nota en la Figura 2.31, la máxima Tensión de Von Mises ocurre en el eje cerca al rodamiento de la sección B con un valor de 32,017 MPa, no obstante, dicha tensión es menor que el límite de fluencia del acero especificado para este elemento (acero recocido AISI 1018), lo cual garantiza que este mecanismo resiste sin fallar.

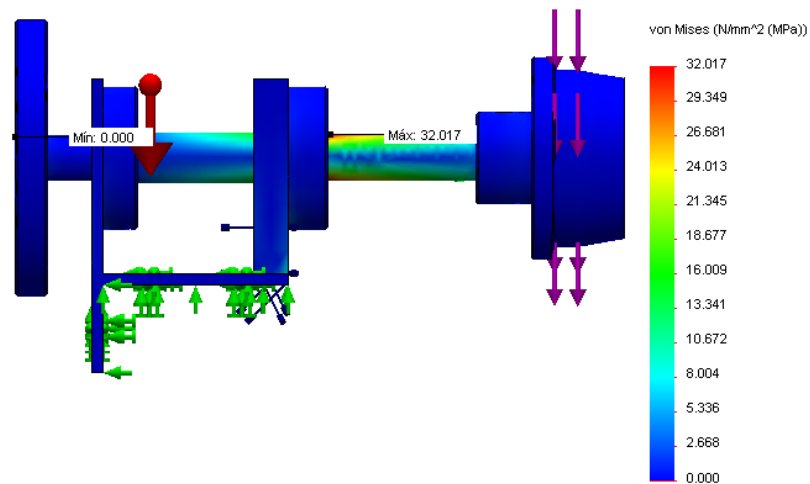


Figura 2.31 Tensiones de Von Mises - mecanismo A.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

La Figura 2.32 muestra el trazado de la distribución del Factor de Seguridad en el mecanismo A, donde el punto mas crítico se ubica en el eje cerca al rodamiento de la sección B, el valor mínimo obtenido es de 7,34, lo cual ratifica que el diseño es confiable.

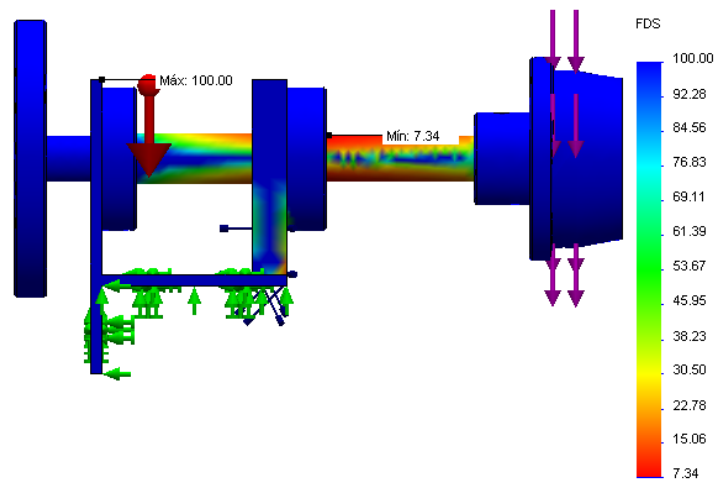


Figura 2.32 Distribución del Factor de Seguridad - mecanismo A.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

Aunque se obtuvo un Factor de Seguridad mayor al recomendado ($FS > 3$), esto se justifica debido al incremento a un diámetro estándar en la sección crítica.

Finalmente, el desplazamiento resultante en el mecanismo A (Ver la Figura 2.33), se origina en la parte superior del cono alcanzando un valor máximo de 0,13 mm; al tratarse de una magnitud muy pequeña incluso imperceptible al ojo humano, se concluye que esta deformación no afecta el adecuado desempeño de todo el sistema.

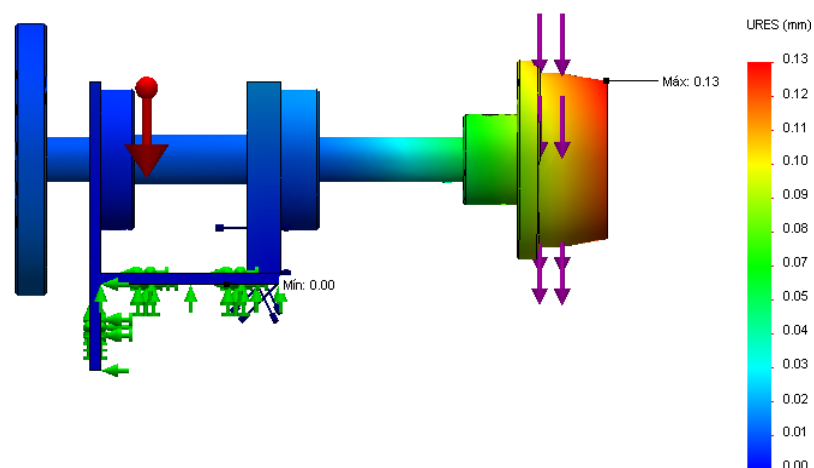


Figura 2.33 Desplazamientos resultantes - mecanismo A.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

d. Dimensionamiento y modelado de los componentes del mecanismo B.

d.1. Tornillo.

Para dimensionar el tornillo se requiere conocer primeramente su diámetro menor. Una vez que se monta en la tuerca, este componente se comporta como una viga en voladizo y se obtiene el diagrama de cargas de la Figura 2.34.

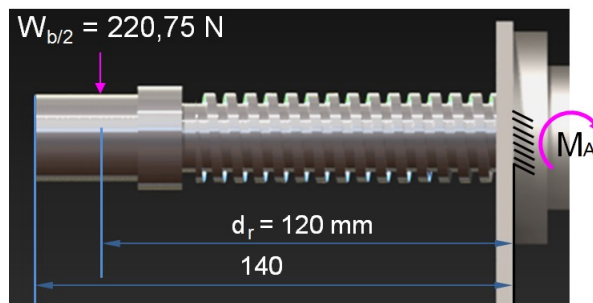


Figura 2.34 Diagrama de cargas en el tornillo.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

De acuerdo a la Figura 2.34, el momento flector máximo se determina a partir de la ecuación:

$$M_A = W_{b/2} \cdot d_r. \quad EC.2.13$$

Entonces:

$$M_A = 220,75 \text{ N} \cdot 120 \text{ mm} = 26490 \text{ N} \cdot \text{mm}.$$

El tornillo se fabrica en acero recocido AISI 1018, al reemplazar los valores del momento flector máximo (M_A), el límite de fluencia respectivo y estimando un factor de seguridad de 3 en la ecuación (EC.2.11), se obtiene un diámetro menor requerido en el tornillo (d_{mT}) de:

$$d_{mT} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 3 \cdot 26490}{\pi \cdot 235}} = 15,1 \text{ mm}.$$

Sobre el diámetro menor del tornillo se maquina una rosca de perfil cuadrado con paso 6 mm, dicha rosca provoca concentraciones de esfuerzos por lo cual se selecciona un diámetro menor del tornillo de 20 mm

que contribuye aportando una seguridad adicional a este elemento. Se precisa de un paso de rosca de 6 mm para tener un desplazamiento más rápido del cono. En la Figura 2.35 se observa la modelación del tornillo.



Figura 2.35 Modelación del tornillo.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

d.2. Rodamiento - mecanismo B.

En este rodamiento se conocen los siguientes datos:

- $L_{10h}=30000$ h. (Según el Anexo D1).
- $P=220,75$ N. (Carga radial, peso de media bobina $W_{b/2}$)
- $p=3$.
- $n_{sd}=15,95$ rpm.

Reemplazando los valores anteriores en la ecuación (EC.1.9) se obtiene una capacidad de carga dinámica (Cr) de:

$$Cr = 220,75 \cdot \left(\frac{30000 \cdot 60 \cdot 15,95}{1000000} \right)^{\frac{1}{3}} = 675,95 \text{ N.}$$

De acuerdo al catálogo general de rodamientos SKF (Ver el Anexo D2), y para una sección de 25 mm (Diámetro donde se ajusta el rodamiento), se selecciona un rodamiento rígido a bolas 6205.

d.3. Cono - mecanismo B.

Conocidas las dimensiones del núcleo de la bobina de PVC así como también las medidas del rodamiento interior del cono, este elemento presenta la forma mostrada en la Figura 2.36.

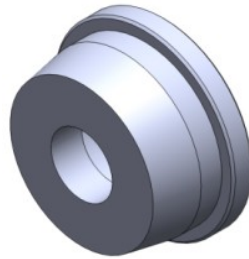


Figura 2.36 Cono - mecanismo B.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

d.4. Tuerca y contratuerca.

La tuerca sirve de guía para el desplazamiento del tornillo y mediante la contratuerca se consigue inmovilizar dicho tornillo. En la Figura 2.37 se indican las geometrías consideradas para estos elementos.

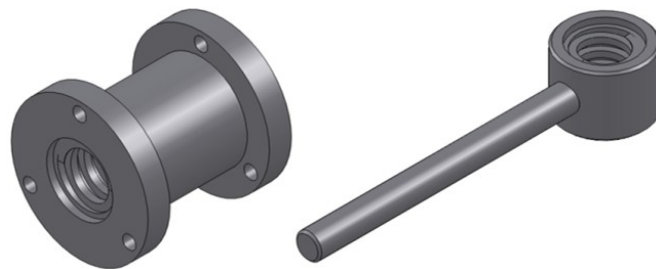


Figura 2.37 Modelación de la tuerca y contratuerca.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

d.5. Manivela y acople.

En la parte posterior del tornillo se ensambla una manivela con el propósito de provocar el giro del tornillo con mayor facilidad. La Figura 2.38 muestra la modelación de la manivela y el acople.

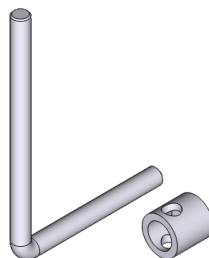


Figura 2.38 Modelación de la manivela y acople.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

d.6. Base y apoyo - mecanismo B.

Tanto la base como el apoyo soportan el peso de los componentes del mecanismo B y las reacciones de las fuerzas que cada componente genera, por lo tanto, acorde a los requerimientos de montaje se precisan las formas indicadas en la Figura 2.39.

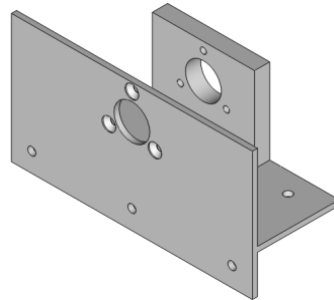


Figura 2.39 Modelación de la base y apoyo - mecanismo B.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

e. Simulación y análisis de esfuerzos del mecanismo B.

Luego de ensamblar todos los componentes mecánicos del mecanismo B como se observa en la Figura 2.40, se realizará un estudio de diseño en SolidWorks Simulation y posteriormente un análisis de esfuerzos.

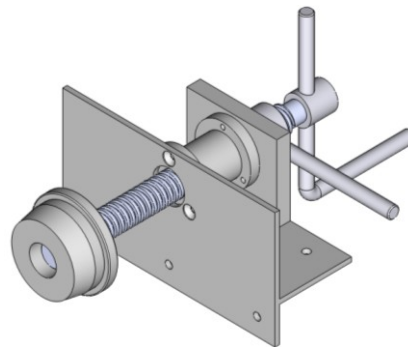


Figura 2.40 Ensamble mecanismo B.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

e.1. Asignación de materiales.

Los materiales asignados a cada uno de los componentes del mecanismo B se exponen en la Tabla 2.8.

Tabla 2.8 Materiales asignados a componentes del mecanismo B.

| N° | Nombre del componente sólido | Material |
|----|------------------------------|-----------|
| 1 | BASE - MECANISMO B. | ASTM A 36 |
| 2 | TORNILLO. | AISI 1018 |
| 3 | ACOPLE. | AISI 1018 |
| 4 | TUERCA. | AISI 1018 |
| 5 | CONO - MECANISMO B. | AISI 1018 |
| 6 | APOYO - MECANISMO B. | ASTM A 36 |
| 7 | MANIVELA. | AISI 1018 |
| 8 | RODAMIENTO 6205. | - |
| 9 | CONTRATUERCA. | AISI 1018 |

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

e.2. Asignación de cargas y restricciones.

De acuerdo a las cargas determinadas anteriormente y considerando las zonas donde se sujeta y apoya este ensamble, se asignan la cargas y restricciones como se indica en la Figura 2.41.

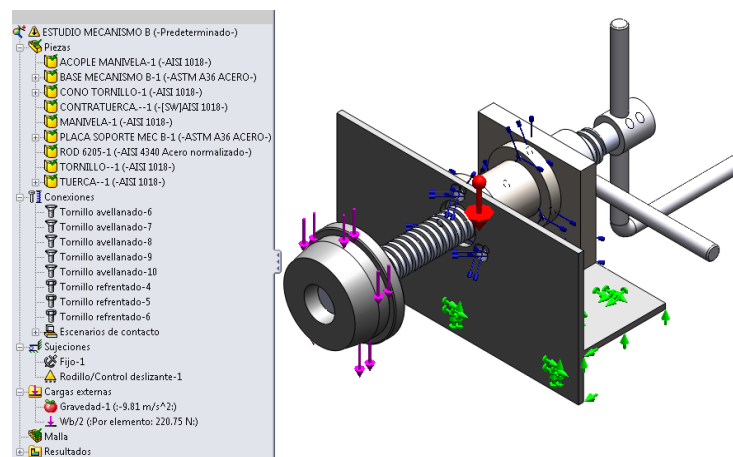


Figura 2.41 Asignación de cargas y restricciones - mecanismo B.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

e.3. Mallado y ejecución del estudio de diseño.

Una vez asignadas las cargas y restricciones correspondientes, se realiza el mallado del ensamble como se aprecia en la Figura 2.42, posteriormente se ejecuta el estudio de diseño.

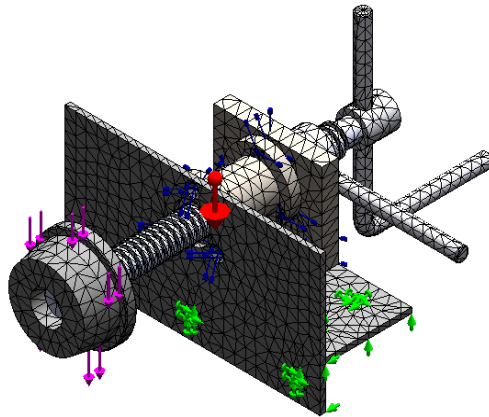


Figura 2.42 Mallado - mecanismo B.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

e.4. Resultados.

Como se aprecia en la Figura 2.43, la máxima Tensión de Von Mises ocurre en el tornillo con un valor de 37,595 MPa, sin embargo, dicha tensión es menor que el límite de fluencia del material asignado a este elemento (acero recocido AISI 1018), lo cual asegura que este sistema resiste sin fallar.

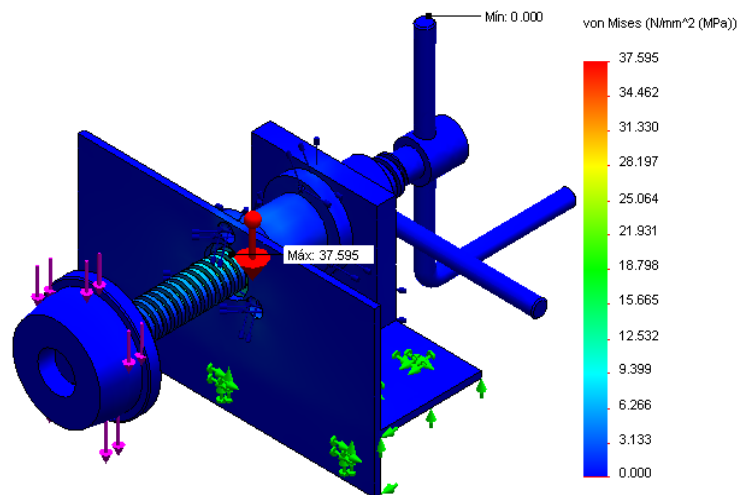


Figura 2.43 Tensiones de Von Mises - mecanismo B.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

La Figura 2.44 representa el trazado de la distribución del Factor de Seguridad en el mecanismo B, donde el valor mínimo obtenido es de 6,25, por consiguiente se concluye que el diseño es seguro.

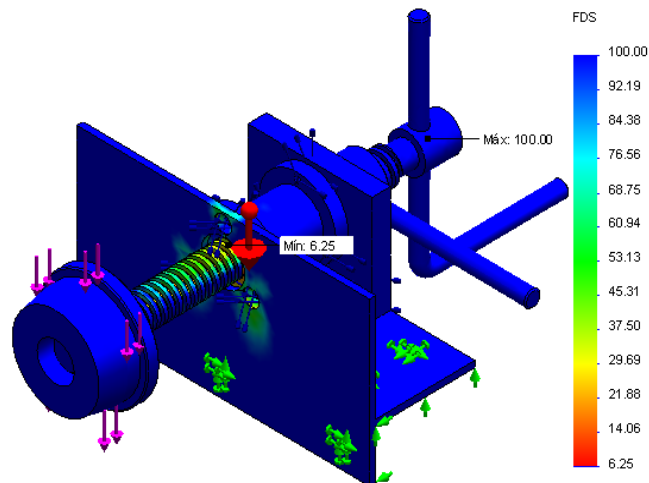


Figura 2.44. Factor de Seguridad - mecanismo B.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

En la Figura 2.45 se advierte un desplazamiento resultante de 0,14 mm, el cual se origina en la parte superior del cono. Debido a que se trata de una deformación muy pequeña, se concluye que esta no altera el correcto desempeño de todo el sistema.

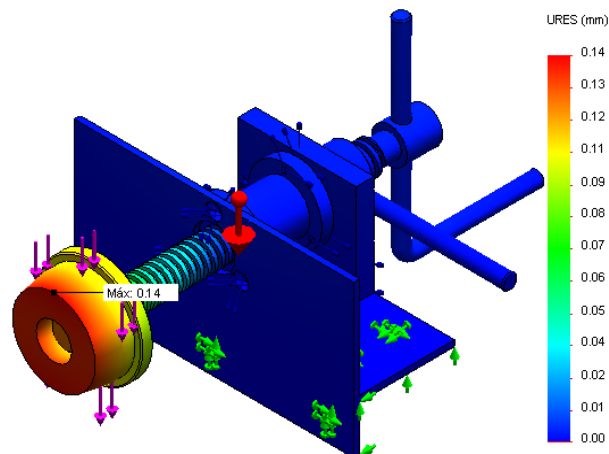


Figura 2.45 Desplazamientos resultantes - mecanismo B.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

2.3.3. Diseño del sistema de frenado de la bobina.

Para tener control en el giro de la bobina se precisa de un freno de disco de zapata circular el mismo que se acopla al mecanismo A del sistema de sujeción y desbobinado.

Se dispone de 1 zapata circular de asbesto montada sobre un plato fijo y mediante un resorte de compresión se provoca una fuerza de accionamiento en dicha zapata sobre el tambor giratorio. Adicionalmente la compresión del resorte se efectúa a través de un tornillo regulador. En la Figura 2.46 se muestran los elementos que integran el sistema de frenado de la bobina.

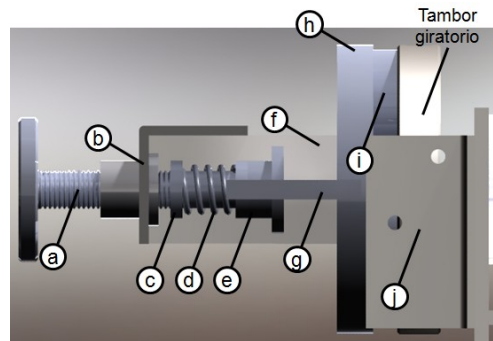


Figura 2.46 Sistema de frenado de la bobina.

a) Tornillo regulador, b) Ángulo soporte, c) Pin, d) Resorte, e) Soporte resorte, f) Guía lateral, g) Placa de empuje, h) Plato fijo, i) Zapata circular, j) Soporte lateral.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

a. Determinación de cargas.

Las cargas consideradas en este sistema son:

- Cargas muertas (Acción de la gravedad).
- Fuerza de accionamiento de la zapata circular (F_f) necesaria para provocar un par torsional de frenado (T_{fT}) en el tambor giratorio.

Como se pretende evitar que el sistema de desbobinado gire descontroladamente después de cada ciclo de arrastre, se necesita generar un par torsional de frenado (T_{fT}) con dirección contraria al torque producto de la inercia del sistema de desbobinado (T_{sd}).

Según la consideración anterior se puede afirmar que:

$$T_{fT} = T_{sd}.$$

EC.2.14

La expresión que nos permite determinar el par del sistema de desbobinado es:

$$T_{sd} = I_{sd} \cdot \alpha_{sd}. \quad EC.2.15$$

Donde:

T_{sd} : Par del sistema de desbobinado [N.m].

I_{sd} : Inercia del sistema de desbobinado [Kg.m²].

α_{sd} : Aceleración angular del sistema de desbobinado [rad/seg²].

Las inercias de las partes móviles del sistema de desbobinado, incluido la bobina de PVC se obtienen a partir del modelo construido en SolidWorks y se muestran en la Tabla 2.9.

Tabla 2.9 Inercias del sistema de desbobinado.

| COMPONENTES | INERCIA [Kg.m²] |
|----------------------|-----------------------------------|
| CONO MECANISMO A. | 0,001262 |
| EJE MECANISMO A. | 0,000094 |
| TAMBOR GIRATORIO. | 0,002798 |
| CONO MECANISMO B. | 0,000977 |
| BOBINA DE PVC. | 0,260791 |
| INERCIA TOTAL | 0,265922 |

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

De acuerdo a los cálculos desarrollados anteriormente, el sistema de desbobinado tiene una velocidad angular de:

$$\omega_{sd} = 1,67 \frac{rad}{seg}.$$

Entonces, la aceleración angular del sistema de desbobinado (α_{sd}) considerando un tiempo de arranque ($t=0,4$ seg) es:

$$\alpha_{sd} = \frac{\omega_{sd}}{t} = \frac{1,67 \frac{rad}{seg}}{0,4 seg} = 4,175 \frac{rad}{seg^2}.$$

Finalmente el par requerido por el sistema de desbobinado (T_{sd}) de acuerdo con la ecuación (EC.2.15) tiene una magnitud de:

$$T_{sd} = 0,265922 \text{ Kg} \cdot \text{m}^2 \cdot 4,175 \frac{\text{rad}}{\text{seg}^2} = 1,12 \text{ N} \cdot \text{m}.$$

El par de torsión que genera un freno de zapata circular se define por la ecuación [6]:

$$T_{fT} = \mu_0 \cdot Ff \cdot r_e. \quad \text{EC.2.16}$$

Donde:

T_{fT} : Par de frenado [N.m].

μ_0 : Coeficiente de rozamiento del material de fricción.

Ff : Fuerza de accionamiento en una zapata circular [N].

r_e : Radio efectivo [m].

Como se conoce que ($T_{fT} = T_{sd}$), al despejar (Ff) de la ecuación (EC.2.16) se tiene:

$$Ff = \frac{T_{sd}}{\mu_0 \cdot r_e}. \quad \text{EC.2.17}$$

El radio efectivo esta definido por:

$$r_e = \delta \cdot e. \quad \text{EC.2.18}$$

Donde:

δ : Relación entre el radio efectivo y la excentricidad.

e : Excentricidad [mm].

En la Figura 2.47 se muestra la posición de la zapata circular en el plato fijo, entonces para determinar el radio efectivo se utilizan los siguientes datos:

- Radio de la zapata circular: $R=22$ mm.
- Excentricidad: $e=36$ mm.

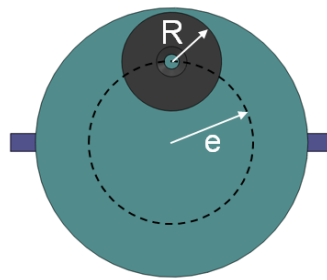


Figura 2.47 Posición de la zapata en el plato fijo.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

La relación del radio de la zapata y la excentricidad es:

$$\frac{R}{e} = \frac{22 \text{ mm}}{36 \text{ mm}} = 0,61.$$

Utilizando Anexo B1, y mediante extrapolación se obtiene δ :

$$\frac{(0,947 - 0,938)}{(0,5 - 0,4)} = \frac{(0,938 - \delta)}{(0,61 - 0,5)}$$

$$\delta = 0,9281.$$

Entonces el radio efectivo es:

$$r_e = 0,9281 \cdot 36 \text{ mm} = 33,41 \text{ mm} = 0,03341 \text{ m}.$$

Del Anexo A9 se toma el coeficiente de fricción entre el asbesto seco y el acero ($\mu_0=0,35$). Finalmente, para asegurar un adecuado desempeño del sistema de frenado se precisa de una fuerza de accionamiento (Ff) de:

$$Ff = \frac{1,12 \text{ N.m}}{0,35 \cdot 0,03341 \text{ m}} = 96 \text{ N}.$$

b. Dimensionamiento y modelado de los componentes del sistema de frenado.

b.1. Plato fijo y placa de empuje.

Las zapata circular de asbesto se sujeta sobre un plato fijo, a la vez dicho plato se ensambla con un placa de empuje mediante la cual se transmite la fuerza de accionamiento (Ff) requerida.

Considerando la posición de la zapata de la Figura 2.47 así como también por requerimientos de montaje, el plato fijo y la placa de empuje presentan la forma indicada en la Figura 2.48.

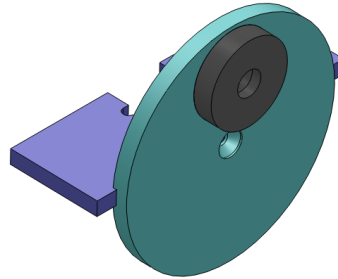


Figura 2.48 Modelación del plato fijo y placa de empuje.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

b.2. Resorte.

El resorte se dimensiona para transmitir una fuerza de 110 N cuando este tenga una longitud de operación (L_o) de 12 mm. Por requerimientos de espacio se precisa que su longitud libre (L_f) sea de 25 mm. Así también este resorte se instala sobre una sección de 15 mm de diámetro y se emplea un acero ASTM A 228 para su fabricación.

Inicialmente se conocen los siguientes datos:

$$F_f = 0 \text{ N} ; L_f = 25 \text{ mm.}$$

$$F_o = 110 \text{ N} ; L_o = 12 \text{ mm.}$$

Acero ASTM A 228; $G=81,7 \text{ GPa}$ (Ver el Anexo C1).

El resorte se instala sobre un eje de 15 mm de diámetro.

La constante del resorte se determina mediante la expresión [5]:

$$k = \frac{F_o}{L_f - L_o}. \quad EC.2.19$$

$$k = \frac{110}{25 - 12} = 8,46 \frac{\text{N}}{\text{mm}}.$$

Se asume un diámetro medio de: $D_m=18 \text{ mm}$; $ID>15 \text{ mm}$.

El resorte permanecerá estático, entonces se considera servicio ligero.

Del Anexo C2 asumo un esfuerzo de diseño nominal ($\tau_d=965$ MPa) y un factor de Wahl nominal ($K=1,2$).

A continuación se encuentra un diámetro tentativo del alambre mediante la ecuación:

$$D_w = \left[\frac{8 \cdot K \cdot F_o \cdot D_m}{\pi \cdot \tau_d} \right]^{\frac{1}{3}}. \quad EC.2.20$$

$$D_w = \left[\frac{8 \cdot 1,2 \cdot 110 \cdot 18}{\pi \cdot 965} \right]^{\frac{1}{3}} = 1,844 \text{ mm} = 0,0726 \text{ pulg.}$$

De acuerdo al Anexo C3 se selecciona un diámetro estándar de 0,08 pulg = 2,032 mm.

Se calculan los valores reales del índice del resorte (C) y el factor de Wahl (K):

$$C = \frac{D_m}{D_w}. \quad EC.2.21$$

$$C = \frac{18}{2,032} = 8,85.$$

$$5 < C < 12$$

$$K = \frac{4C - 1}{4C - 4} + \frac{0,615}{C}. \quad EC.2.22$$

$$K = \frac{4(8,85) - 1}{4(8,85) - 4} + \frac{0,615}{8,85} = 1,16.$$

El esfuerzo real debido a la fuerza de operación (F_o) es:

$$\tau_o = \frac{8 \cdot K \cdot F_o \cdot D_m}{\pi \cdot D_w^3}. \quad EC.2.23$$

$$\tau_o = \frac{8 \cdot 1,16 \cdot 110 \cdot 18}{\pi \cdot 2,032^3} = 697,095 \frac{N}{\text{mm}^2}.$$

Al comparar con el esfuerzo de diseño real de 970 MPa, se observa que es seguro.

Para determinar el número de espiras activas se emplea la ecuación:

$$N_a = \frac{G \cdot D_w}{8 \cdot k \cdot C^3} \cdot \quad EC.2.24$$

$$N_a = \frac{81700 \cdot 2,032}{8 \cdot 8,46 \cdot 8,85^3} = 3,53 \text{ espiras.}$$

La longitud comprimida si el resorte tiene extremos escuadrados y rectificadas es:

$$L_s = D_w \cdot (N_a + 2). \quad EC.2.25$$

$$L_s = 2,032 \cdot (3,53 + 2) = 11,2 \text{ mm.}$$

La fuerza para la longitud comprimida se encuentra mediante la expresión:

$$F_s = k \cdot (L_f - L_s). \quad EC.2.26$$

$$F_s = 8,46 \cdot (25 - 11,3) = 116 \text{ N.}$$

El esfuerzo de la longitud comprimida es:

$$\tau_s = \frac{\tau_o \cdot F_s}{F_o}. \quad EC.2.27$$

$$\tau_s = \frac{697,095 \cdot 116}{110} = 735 \text{ MPa.}$$

Al comparar con el esfuerzo de diseño real de 970 MPa, se observa que es seguro, el resorte no tendrá fluencia al comprimirlo hasta su longitud comprimida.

Las dimensiones geométricas del resorte son:

$$DE = D_m + D_w. \quad EC.2.28$$

$$DE = 18 + 2,032 = 20,032 \text{ mm.}$$

$$ID = D_m - D_w. \quad EC.2.29$$

$$ID = 18 - 2,032 = 15,96 \text{ mm.}$$

Para transmitir la fuerza de accionamiento de 96 N requerida por el sistema de frenado se necesita que el resorte se comprima hasta una longitud de:

$$L_r = \frac{(F_o - 96)}{k} + L_o. \quad EC.2.30$$

$$L_r = \frac{(110 - 96)}{8,46} + 12 = 13,6 \text{ mm.}$$

En la Figura 2.49 se muestra la modelación del resorte helicoidal de compresión del sistema de frenado de la bobina.

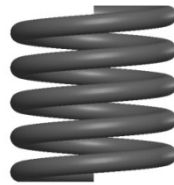


Figura 2.49 Resorte helicoidal de compresión.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

b.3. Pin y Soporte resorte.

De acuerdo a las dimensiones del resorte diseñado en la sección anterior, el pin donde se instala dicho resorte así como el soporte mediante el cual se transmite la fuerza de accionamiento a la placa de empuje, presentan las geometrías mostradas en la Figura 2.50.

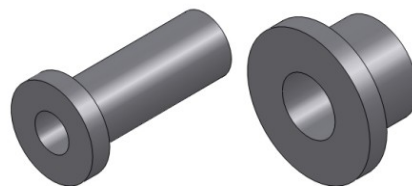


Figura 2.50. Modelación del pin y soporte resorte.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

b.4. Tornillo regulador.

Mediante este elemento se comprime al resorte helicoidal hasta conseguir la fuerza de accionamiento necesaria, es decir 96 N. En la Figura 2.51 se indica la modelación del tornillo regulador.

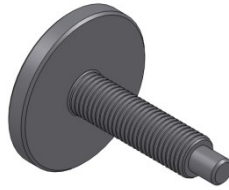


Figura 2.51 Modelación del tornillo regulador.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

b.5. Guías y Soportes laterales.

Un par de guías permiten el desplazamiento de la placa de empuje y mediante unos soportes laterales se consigue acoplar el sistema de frenado de la bobina al mecanismo A del sistema de sujeción y desbobinado. En la Figura 2.52 se muestra la forma requerida en las guías y soportes laterales.

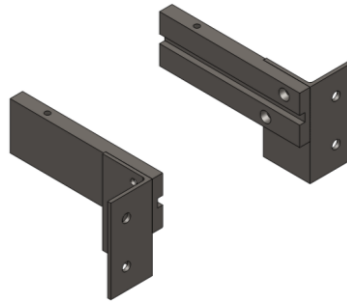


Figura 2.52 Modelación de las guías y soportes laterales.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

b.6. Ángulo soporte.

En la parte posterior de las guías laterales se ubica un ángulo soporte, el mismo que posee una sección roscada para permitir el movimiento y fijación del tornillo regulador. La Figura 2.53 presenta la modelación del ángulo soporte.

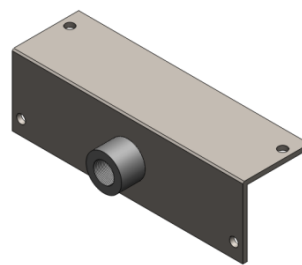


Figura 2.53 Modelación del ángulo soporte.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

c. Simulación y análisis de esfuerzos.

Después de haber ensamblado todos los componentes mecánicos del sistema de frenado de la bobina como se visualiza en la Figura 2.54, se verifica que no existan interferencias y a continuación se crea un estudio de diseño en SolidWorks Simulation.

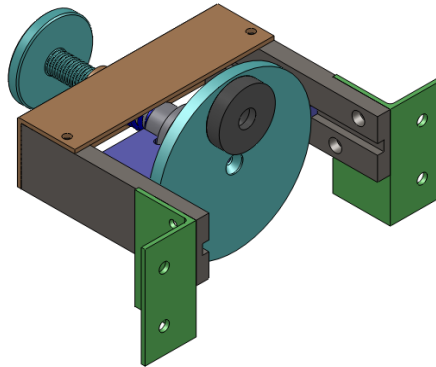


Figura 2.54 Ensamble - sistema de frenado.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

c.1. Asignación de materiales.

Los materiales asignados a cada componente del sistema de frenado de la bobina se muestran en la Tabla 2.10.

Tabla 2.10 Materiales asignados a componentes del sistema de frenado.

| Nº- | Nombre del componente sólido | Material |
|-----|------------------------------|-----------|
| 1 | ÁNGULO SOPORTE. | ASTM A 36 |
| 2 | SOPORTE LATERAL DERECHO. | ASTM A 36 |
| 3 | SOPORTE LATERAL IZQUIERDO. | ASTM A 36 |
| 4 | GUÍA LATERAL DERECHA. | ASTM A 36 |
| 5 | GUÍA LATERAL IZQUIERDA. | ASTM A 36 |
| 6 | PIN. | AISI 1018 |
| 7 | SOPORTE RESORTE. | AISI 1018 |
| 8 | PLATO FIJO. | ASTM A 36 |
| 9 | PLACA DE EMPUJE. | ASTM A 36 |
| 10 | ZAPATA CIRCULAR. | ASBESTO |
| 11 | TORNILLO REGULADOR. | AISI 1018 |

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

c.2. Asignación de cargas y restricciones.

Conforme a las cargas establecidas anteriormente y considerando las zonas donde se sujeta este sistema, se asignan las cargas y restricciones como se indica en la Figura 2.55. También se aprovecha la ventaja que ofrece el Software al permitir simular uniones mediante pernos y tornillos.

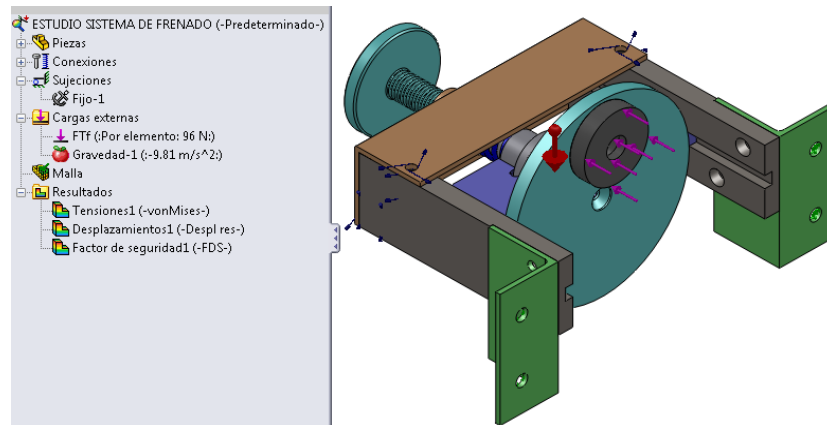


Figura 2.55 Asignación de cargas y restricciones - sistema de frenado.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

c.3. Resultados.

Una vez que se ha mallado el ensamble y se ha ejecutado el estudio de diseño, se obtienen las graficas de simulación del Anexo I1. Al interpretar cada una de las graficas se entregan los siguientes resultados:

La máxima Tensión de Von Mises en el sistema de frenado de la bobina, se origina en los soportes laterales y su valor es de 31,422 MPa, sin embargo, esta tensión es menor que el límite de fluencia del acero estructural ASTM A 36 con el cual se fabricarán dichos soportes, por esta razón se garantiza que este sistema resiste sin fallar.

Con respecto al Factor de Seguridad, la zona más crítica se presenta en los soportes laterales con un valor de 7,96, por consiguiente, se confirma que el diseño es seguro. Como se obtuvo un Factor de Seguridad mucho mayor al recomendado ($FS \gg 4$), esto se justifica a causa de los requerimientos de fabricación y montaje. Lo ideal sería aproximarse al valor del Factor de Seguridad recomendado, pero además dicho valor provee una seguridad adicional a este sistema.

Finalmente, se advierte un desplazamiento resultante de 0,04 mm, el cual ocurre en la parte posterior del ángulo soporte. Al tratarse de una deformación bastante pequeña, se concluye que esta no afecta el funcionamiento normal de todo el sistema.

2.3.4. Diseño del sistema de guiado.

Con la finalidad de evitar que la lámina de PVC se arrugue durante su recorrido hasta el sistema de arrastre se emplean 4 rodillos guía. Estos rodillos giran sobre su propio eje y no se acoplan a ningún sistema de transmisión de potencia, más el giro de estos se produce por el desplazamiento de la lámina PVC entre la configuración de rodillos. La distribución de los 4 rodillos se realiza considerando máquinas industriales con características similares.

En la Figura 2.56 se presenta la configuración de los rodillos a utilizar en la máquina.

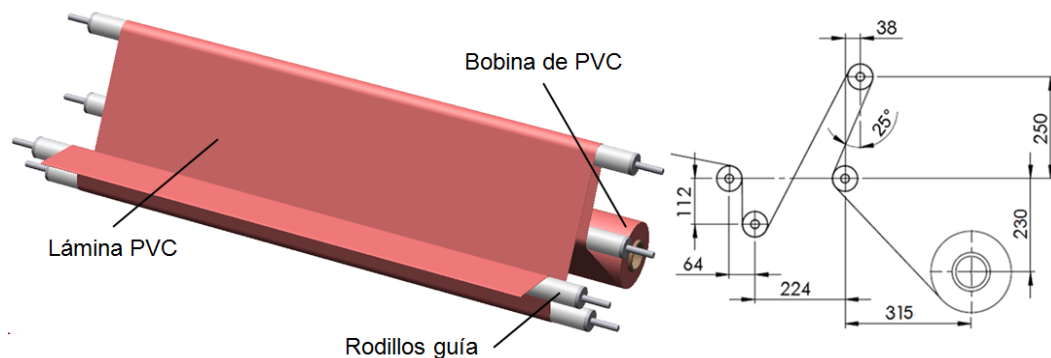


Figura 2.56. Configuración de rodillos guía.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

a. Determinación de cargas.

Las cargas que actúan en cada rodillo guía son:

- Cargas muertas (Acción de la gravedad).
- Tensión total (FT_{PVC}) generada en la lámina de PVC durante el arranque de sistema de desbobinado.

El torque requerido en el arranque del sistema de desbobinado (T_{sd}) es de 1,12 N.m, pero además mediante el sistema de frenado de la bobina se ejerce un par de fricción (T_f) de 1,12 N.m, de tal manera que la tensión total generada en la lámina PVC durante el arranque del sistema de desbobinado se encuentra con la expresión:

$$FT_{PVC} = \frac{T_{sd} + T_f}{r_b}. \quad EC.2.31$$

$$FT_{PVC} = \frac{1,12 + 1,12}{0,1} = 22,4 N.$$

Asumiendo que la tensión producida en el arranque (FT_{PVC}) es uniforme desde el sistema de desbobinado hasta el último rodillo del sistema de guiado se tiene la distribución de fuerzas de la Figura 2.57.

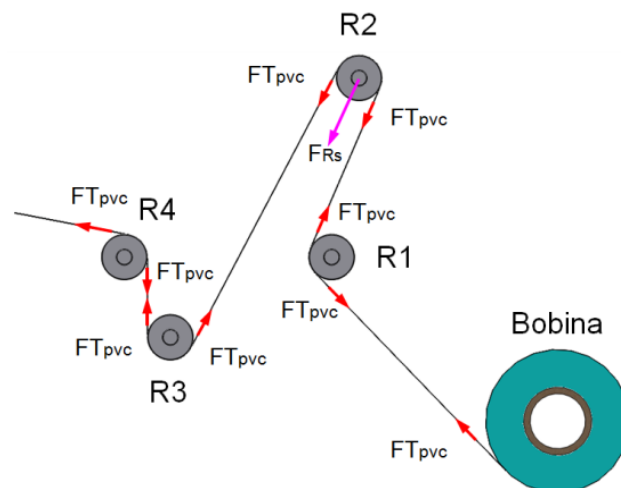


Figura 2.57 Distribución de fuerzas en el sistema de guiado.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

Para el diseño de todos los rodillos se considera el rodillo donde se produce la mayor fuerza resultante.

En la Figura 2.57 se puede observar que en el rodillo R2 la tensión en la lámina PVC origina una fuerza resultante igual a:

$$F_{RS} = 2FT_{PVC}. \quad EC.2.32$$

$$F_{RS} = 2 \cdot 22,4 N = 44,8 N \approx 45 N.$$

Dicha fuerza se distribuye a lo largo de 1,5 m que es el ancho de la lámina de PVC entonces:

$$F_{Rs} = \frac{45 \text{ N}}{1,5 \text{ m}} = 30 \frac{\text{N}}{\text{m}}.$$

b. Modelado de los componentes de los rodillos guía.

b.1. Tubo.

Con el propósito de reducir peso en los rodillos guía, estos se fabrican de un tubo mecánico en acero ASTM A 513 ($S_y=215$ MPa). Del Anexo A7 se elige un tubo de 2" ½ de diámetro exterior y 1,5 mm de espesor.

En la Figura 2.58, se presenta la modelación del tubo de los rodillos guía.

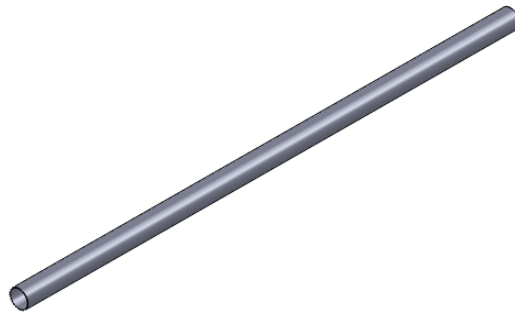


Figura 2.58 Tubo - rodillos guía.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

b.2. Ejes laterales.

En los extremos del tubo seleccionado se sueldan un par de ejes laterales con el objetivo de que el rodillo guía gire unido a soportes de piso con rodamiento Y. Acorde a los requerimientos de montaje, los ejes laterales tienen la forma mostrada en la Figura 2.59.

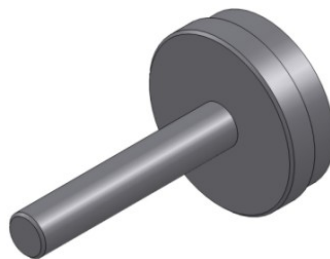


Figura 2.59. Eje lateral.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

c. Simulación y análisis de esfuerzos.

Luego de ensamblar los componentes mecánicos del rodillo guía, como se observa en la Figura 2.60, se crea un estudio de diseño en SolidWorks.



Figura 2.60 Ensamble del rodillo guía.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

c.1. Asignación de materiales.

Los materiales asignados a cada componente del rodillo guía se exponen en la Tabla 2.11.

Tabla 2.11 Materiales asignados a componentes del rodillo guía.

| Nº- | Nombre del componente sólido | Material |
|-----|------------------------------|------------|
| 1 | TUBO. | ASTM A 513 |
| 2 | EJES LATERALES | AISI 1018 |

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

c.2. Asignación de cargas y restricciones.

De acuerdo a las cargas determinadas anteriormente y considerando las zonas donde se fija el rodillo guía, se asignan las cargas y restricciones de la manera indicada en la Figura 2.61.

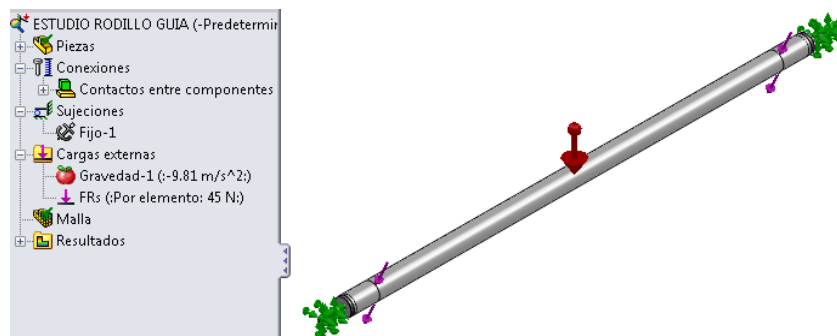


Figura 2.61 Asignación de cargas y restricciones - rodillo guía.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

c.3. Resultados.

Una vez que se ha mallado el ensamble y se ha ejecutado el estudio de diseño, se obtienen las graficas de simulación del Anexo I2. Al analizar cada una de las graficas se presentan los siguientes resultados:

La máxima Tensión de Von Mises en el rodillo guía ocurre en los ejes laterales y su valor es de 21,867 MPa, sin embargo, esta tensión es menor que el límite de fluencia del material asignado a estos componentes (Acero recocido AISI 1018), en consecuencia se comprueba que el rodillo guía resiste esa tensión.

Con respecto al trazado de la distribución del Factor de Seguridad, se puede apreciar que las zonas más críticas se hallan en los ejes laterales, el valor mínimo obtenido es de 10,75, lo cual asegura que el diseño es confiable.

Por último, se obtiene un desplazamiento resultante de 0,15 mm originado en la parte central del tubo, sin embargo esta deformación no dificulta el adecuado funcionamiento del rodillo guía.

d. Selección de rodamientos.

Los rodillos guía se montan sobre soportes de piso con rodamiento Y, para su selección se consideran los siguientes datos:

- $L_{10h}=30000$ h. (Según el Anexo D1).
- $P=50$ N. (Carga radial, reacciones en los extremos de los rodillo guía.)
- $p=3$.
- $n_{rg}=50,23$ rpm.

Al reemplazar los valores anteriores en la ecuación (EC.1.9) se tiene una capacidad de carga dinámica (Cr) de:

$$Cr = 50 \cdot \left(\frac{30000 \cdot 60 \cdot 50,23}{1000000} \right)^{\frac{1}{3}} = 224,41 \text{ N.}$$

De acuerdo con el catálogo general de rodamientos SKF (Ver el Anexo D4), para un diámetro de los ejes laterales del rodillo guía ($\frac{5}{8}$ pulg), se seleccionan soportes de piso SY $\frac{5}{8}$ Tf o su correspondiente designación comercial UCP 203 - 008.

2.3.5. Diseño del sistema de corte longitudinal.

El sistema de corte longitudinal comprende un eje ranurado sobre el cual se montan 6 portacuchillas las mismas que pueden ser posicionadas a largo de dicho eje para dar la medida de corte como se indica en la Figura 2.62.

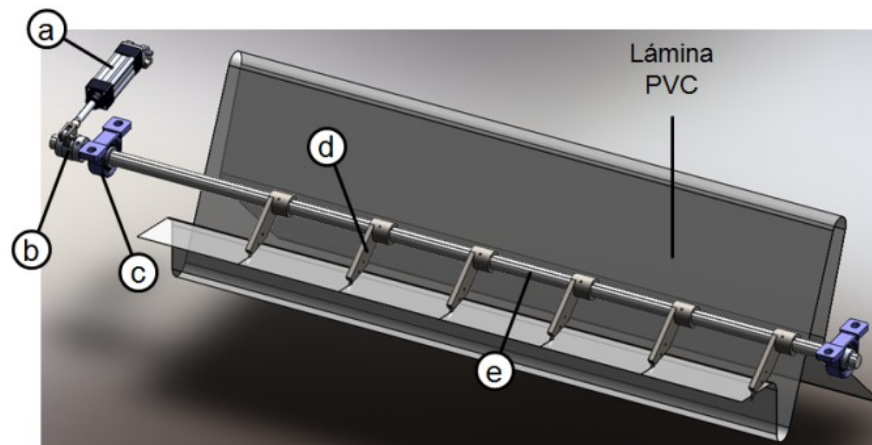


Figura 2.62 Sistema de corte longitudinal.

a) Cilindro neumático, b) Elemento de acople, c) Soporte de piso con rodamiento Y, d) Portacuchillas, e) Eje portacuchillas.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

Cuando no se requiere el uso de este sistema, las portacuchillas permanecen en posición horizontal y cuando se precisa de dicho corte giran un ángulo determinado hasta que atraviesan la lámina tensada de PVC (Ver la Figura 2.63).

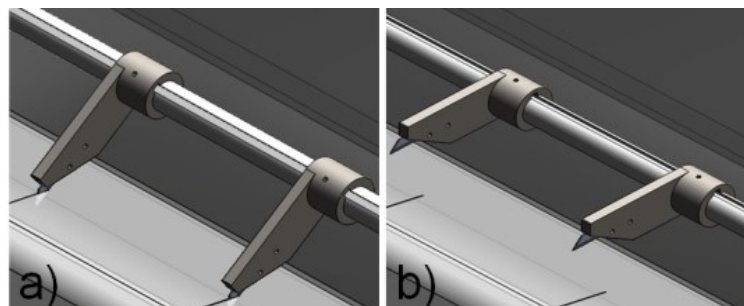


Figura 2.63 Funcionamiento del sistema de corte longitudinal.

a) Activado, b) Desactivado.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

a. Determinación de cargas.

Las cargas a considerarse en este sistema son:

- Cargas muertas (Acción de la gravedad).

La fuerza requerida para el corte de la lámina PVC es bastante pequeña, se toma una fuerza de corte de 5 N en cada cuchilla, pero no se toma en cuenta para el diseño de los componentes mecánicos de este sistema ya que el corte se produce por el arrastre del material.

b. Dimensionamiento y modelado de los componentes del sistema corte longitudinal.

b.1. Portacuchillas.

La geometría de los portacuchillas esta diseñada para que estos puedan sujetar cuchillas planas Stanley. Se selecciona esta marca de cuchillas debido a la facilidad de adquisición además de su alta durabilidad. En la Figura 2.64 se presenta la modelación de los portacuchillas.



Figura 2.64 Portacuchillas.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

b.2. Elemento de acople.

Para habilitar o deshabilitar el sistema de corte longitudinal se asigna un ángulo de giro adecuado al eje portacuchillas. Mediante un cilindro neumático y el elemento de acople ilustrado en la Figura 2.65 se consigue articular el movimiento requerido.

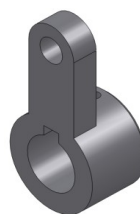


Figura 2.65 Elemento de acople.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

b.3. Eje portacuchillas.

El eje portacuchillas se fabrica en acero recocido AISI 1018, se asume inicialmente un diámetro estándar de 1 pulg.

A lo largo de todo este eje se maquina una ranura con el fin de que los portacuchillas puedan fijarse a este mediante chavetas. En la Figura 2.66 se puede visualizar el detalle de ranura en el eje portacuchillas.



Figura 2.66 Detalle de ranura en el eje portacuchillas.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

c. Simulación y análisis de esfuerzos.

Después de ensamblar los componentes mecánicos del sistema de corte longitudinal, como se puede visualizar en la Figura 2.67, se crea un estudio de diseño en SolidWorks Simulation.



Figura 2.67 Ensamble - sistema de corte longitudinal.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

c.1. Asignación de materiales.

En la Tabla 2.12 se presentan los materiales asignados a cada componente del sistema de corte longitudinal.

Tabla 2.12 Materiales asignados a componentes del sistema de corte longitudinal.

| Nº- | Nombre del componente sólido | Material |
|-----|------------------------------|-----------|
| 1 | EJE PORTACUCHILLAS. | AISI 1018 |
| 2 | ELEMENTO DE ACOPLA. | AISI 1018 |
| 3 | PORTACUCHILLAS. | ASTM A 36 |

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

c.2. Asignación de cargas y restricciones.

Conforme a las cargas establecidas anteriormente y las zonas donde se sujeta este sistema, se asignan las cargas y restricciones como se muestra en la Figura 2.68.

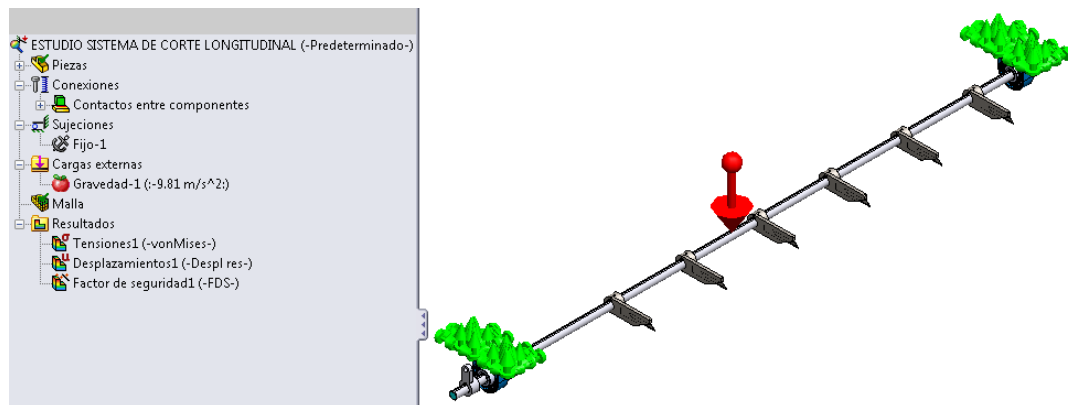


Figura 2.68 Asignación de cargas y restricciones - sistema de corte longitudinal.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

c.3. Resultados.

Una vez que se ha mallado el ensamble y se ha ejecutado el estudio de diseño, se obtienen las graficas de simulación del Anexo I3. Al interpretar cada una de las graficas se exponen los siguientes resultados:

La máxima Tensión de Von Mises en el sistema de corte longitudinal aparece en los extremos del eje portacuchillas y su valor es de 22,848 MPa, no obstante, esta tensión es menor que el límite de fluencia del material asignado a este componente (Acero recocido AISI 1018), en consecuencia se comprueba que el sistema es capaz de resistir dicha tensión.

Con respecto al trazado de la distribución del Factor de Seguridad, se advierte que las zonas más críticas se originan en los extremos del eje portacuchillas, el valor mínimo alcanzado es de 10,29, lo cual garantiza que el diseño es seguro.

Por último, se obtiene un desplazamiento resultante máximo de 0,77 mm el cual se presenta en uno de los portacuchillas, sin embargo esta deformación no altera el funcionamiento normal de todo este sistema.

d. Selección de rodamientos.

Para el accionamiento del sistema de corte longitudinal, el eje portacuchillas debe girar un determinado ángulo hasta que las cuchillas atraviesen la lámina de PVC, por lo cual se precisa de un par de soportes de piso con rodamiento Y a los extremos del mismo. Del catálogo general de rodamientos SKF (Ver el Anexo D4), para el diámetro establecido del eje portacuchillas (1 pulg), se selecciona un par de soportes de piso SY 1 Tf o su correspondiente designación comercial UCP 205 - 100.

2.3.6. Diseño del sistema de arrastre.

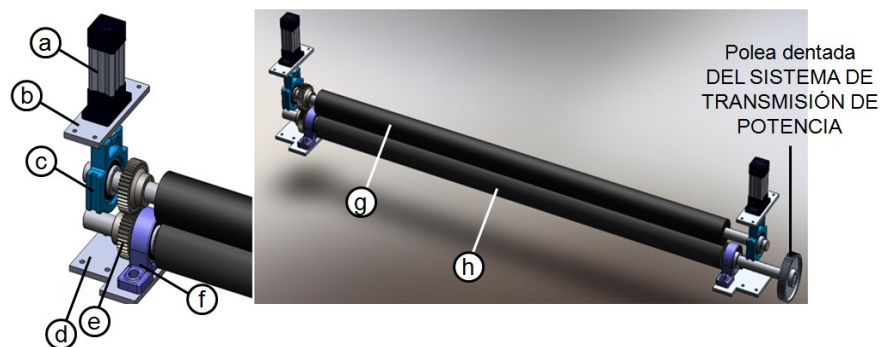


Figura 2.69 Sistema de arrastre.

- a) Actuadores neumáticos, b) Brida, c) Soporte tensor con rodamiento Y,
- d) Placas base, e) Engranajes, f) Soporte de piso con rodamiento Y,
- g) Rodillo presor, h) Rodillo tractor.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

El sistema de arrastre de la Figura 2.69 está formado principalmente por un rodillo tractor y un rodillo presor entre los cuales se posiciona la lámina PVC. Ambos rodillos están vulcanizados con caucho natural cuya

designación comercial es NR (Natural Rubber). En el Anexo A8 se aprecian algunas propiedades del NR en comparación con otro tipo de elastómeros.

También un par de cilindros neumáticos; unidos a los soportes tensor con rodamiento Y; generan la fuerza necesaria para crear una separación entre el rodillo tractor y el rodillo presor, con lo cual se facilita la ubicación del film PVC al inicio de cada proceso de corte.

a. Determinación de cargas.

Para el diseño del sistema de arrastre se consideran las siguientes cargas:

- Cargas muertas (Acción de la gravedad).
- Fuerza normal (N_n) generada sobre el rodillo tractor.

b. Dimensionamiento y modelado de los componentes del sistema de arrastre.

b.1. Rodillo presor.

Este rodillo está formado por un eje de acero sobre el cual se vulcaniza un determinado volumen de caucho natural hasta alcanzar un diámetro exterior de 8 cm. A los costados del eje del rodillo presor se montan dos soportes tensor con rodamiento Y. En la Figura 2.70 se presenta la modelación del rodillo presor.

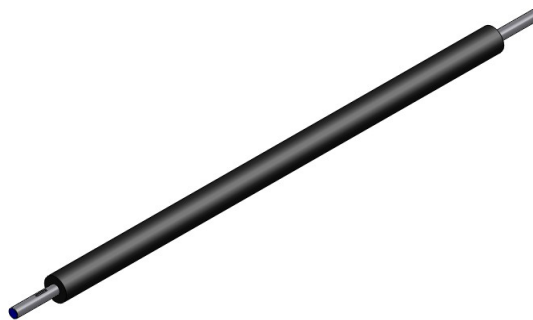


Figura 2.70 Modelación - rodillo presor.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

Por recomendaciones de la empresa Cauchos Vikingo encargada de realizar el vulcanizado de los rodillos, se requiere que el eje de acero tenga un diámetro mayor o igual a 1¼ pulg. En la Figura 2.71 se muestra la modelación del eje del rodillo presor.



Figura 2.71 Modelación - eje del rodillo presor.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

La cantidad de caucho natural necesaria para conformar un diámetro exterior de 8 cm y una longitud de 1,6 m sobre el eje es de 6,5 Kg.

b.2. Bridas.

Se utiliza un par de bridas, como la mostrada en la Figura 2.72 para soportar a los cilindros neumáticos mediante los cuales se levanta al rodillo presor.

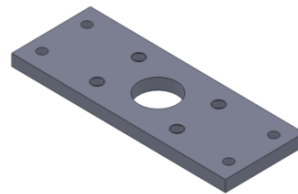


Figura 2.72 Modelación de la brida.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

b.3. Guías T.

Las guías T dirigen el movimiento de los soportes tensor, cuando se requiere posicionar la lámina PVC. En la Figura 2.73 se muestra el montaje de una de las guías T con uno de los soportes tensor.

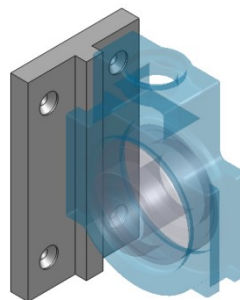


Figura 2.73 Modelación - guía T.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

b.4. Rodillo tractor.

Al igual que el rodillo presor, este rodillo está formado por un eje de acero sobre el cual se realiza el vulcanizado con caucho natural hasta un diámetro de 8 cm y una longitud de 1,6 m, como se indica en la Figura 2.74.

El rodillo tractor recibirá la potencia suministrada desde el motor a través de una transmisión por correa dentada.

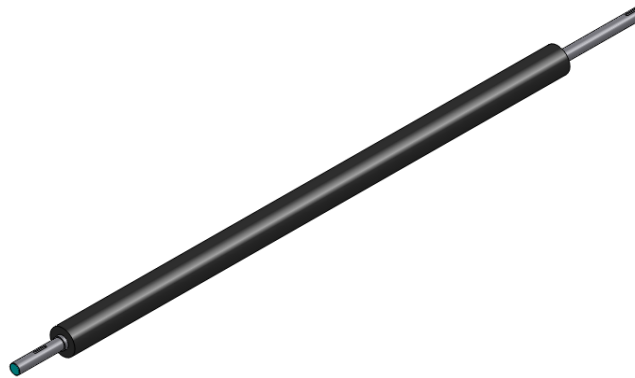


Figura 2.74 Modelación - rodillo tractor.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

Conforme a los requerimientos del proceso de vulcanizado, el eje del rodillo tractor debe tener un diámetro mayor o igual a $1\frac{1}{4}$ pulg. En Figura 2.75 se presenta la modelación del eje del rodillo tractor.



Figura 2.75 Modelación - eje del rodillo tractor.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

Del diagrama de cuerpo libre de la Figura 2.76, se deduce:

$$\sum \uparrow^+ Fy = 0.$$

$$N_n - W_P - F_{CN} = 0.$$

$$N_n = W_P + F_{CN}. \quad EC.2.33$$

Donde:

N_n : Fuerza normal [N].

W_P : Peso del rodillo presor ($W_P=224,3$ N).

F_{CN} : Fuerza provista desde los actuadores neumáticos que dan movimiento al rodillo presor ($F_{CN}=100$ N).

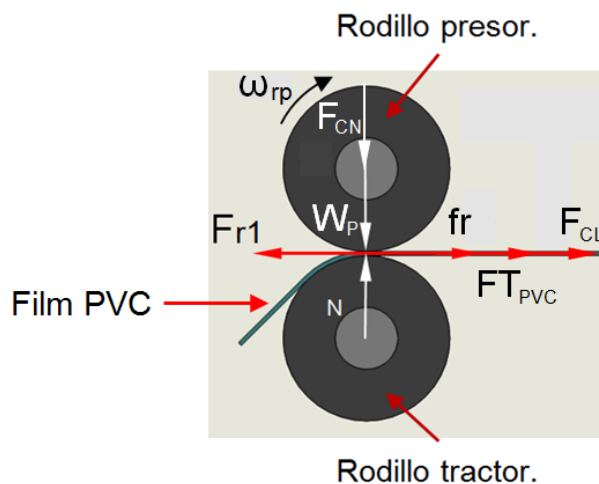


Figura 2.76 Diagrama de cuerpo libre - sistema de arrastre.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

Al reemplazar los valores correspondientes en la ecuación EC.2.33 se obtiene:

$$N_n = 224,3 \text{ N} + 100 \text{ N} \approx 325 \text{ N}.$$

b.5. Placas base.

Por medio de las placas base se acopla todo el sistema de arrastre a la estructura principal de la máquina. En la Figura 2.77 se puede visualizar la modelación de la placa base.

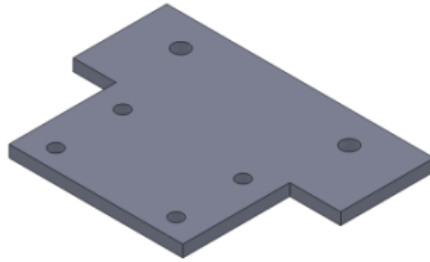


Figura 2.77 Modelación - placa base.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

b.6. Engranés.

Para asegurar que ambos rodillos del sistema de arrastre giren al mismo tiempo y de esta manera evitar daños a la materia prima, se emplea un par de engranes como el mostrado en la Figura 2.78. Dichos engranes se montan en ambos ejes de los rodillos del sistema de arrastre.



Figura 2.78 Modelación - engrane.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

Conforme al diámetro de los rodillos y para no crear interferencias, los engranajes se fabrican con las especificaciones de la Tabla 2.13.

Tabla 2.13 Especificaciones de engranes del sistema de arrastre.

| ESPECIFICACIONES TÉCNICAS | | |
|----------------------------------|---|-------|
| MÓDULO. | m | 2 |
| NÚMERO DE DIENTES. | z | 40 |
| ANCHO DE CARA. | F | 12 mm |

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

Del catálogo de aceros BOHLER se selecciona como material para los engranes un acero AISI 4140, cuyas características se pueden apreciar en Anexo A4.

c. Simulación y análisis de esfuerzos.

Luego de haber ensamblado todos los componentes mecánicos del sistema de arrastre de acuerdo a la Figura 2.79, se verifica que no existan interferencias y a continuación se crea un estudio de diseño en SolidWorks Simulation.

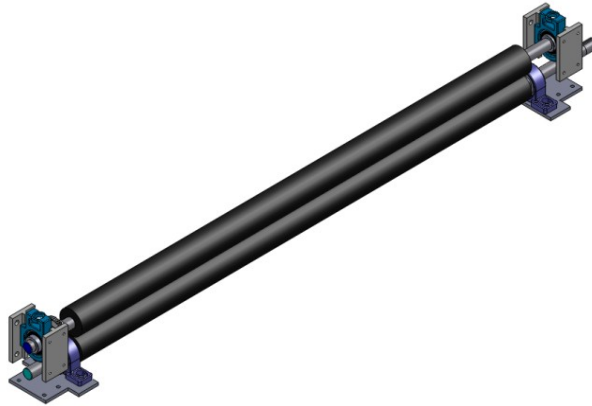


Figura 2.79 Ensamble - sistema de arrastre.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

c.1. Asignación de materiales.

En la Tabla 2.14 se indican los materiales asignados a cada componente del sistema de arrastre.

Tabla 2.14 Materiales asignados al sistema de arrastre.

| N°- | Nombre del componente sólido | Material |
|-----|------------------------------|-----------|
| 1 | EJE RODILLO PRESOR. | AISI 1018 |
| 2 | VULCANIZADO RODILLO PRESOR. | NR |
| 3 | BRIDAS. | ASTM A 36 |
| 4 | GUÍAS T. | AISI 1045 |
| 5 | EJE RODILLO TRACTOR. | AISI 1018 |
| 6 | VULCANIZADO RODILLO TRACTOR. | NR |
| 7 | PLACAS BASE | ASTM A 36 |
| 8 | ENGRANES. | AISI 4140 |

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

c.2. Asignación de cargas y restricciones.

Conforme a las cargas determinadas anteriormente y las zonas donde se sujeta este sistema, se asignan las cargas y restricciones como se muestra en la Figura 2.80.

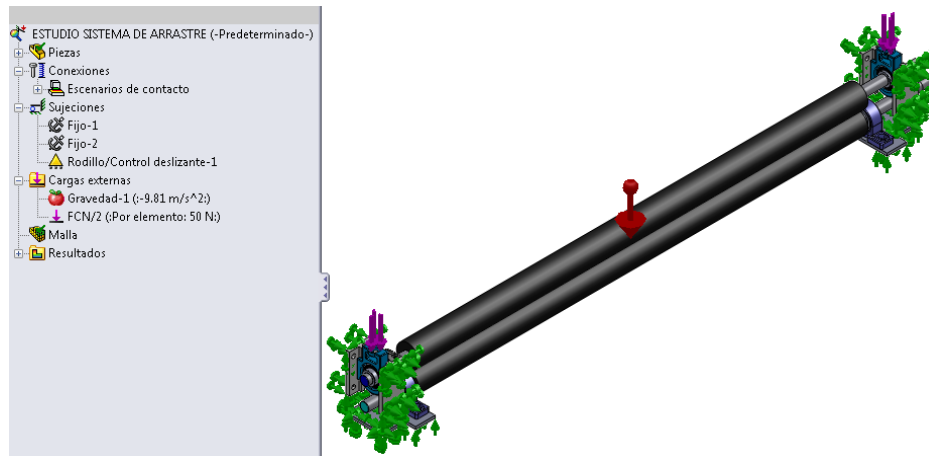


Figura 2.80 Asignación de Cargas y restricciones - sistema de arrastre.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

c.3. Resultados.

Una vez que se ha mallado el ensamble y se ha ejecutado el estudio de diseño, se consiguen las graficas de simulación del Anexo I4. Al analizar cada una de las graficas se emiten los siguientes resultados:

La máxima Tensión de Von Mises en el sistema de arrastre se presenta en las secciones laterales del eje del rodillo tractor y su valor es de 20,513 MPa, sin embargo, esta tensión es menor que el límite de fluencia del acero recocido AISI 1018 con el cual se fabricará dicho eje, por lo tanto se confirma que este sistema puede resistir dicha tensión.

Con referencia al trazado de la distribución del Factor de Seguridad se distingue que las zonas más críticas se encuentran en las secciones laterales del eje del rodillo tractor, no obstante su valor mínimo es de 11,46 por lo cual se concluye que el diseño es seguro. Si bien se obtuvo un Factor de Seguridad mayor al recomendado, esto se justifica a causa de los requerimientos del servicio de vulcanizado.

Finalmente, el desplazamiento resultante máximo alcanza un valor de 0,63 mm y se produce en los extremos del rodillo presor. Como se trata de una deformación muy pequeña, se concluye que la misma no trasciende en el funcionamiento normal del sistema.

d. Selección de rodamientos.

d.1. Rodamiento del rodillo presor.

El rodillo presor se monta sobre soportes tensor con rodamiento Y, para su selección se consideran los siguientes datos:

- $L_{10h}=30000$ h. (Según el Anexo D1).
- $P=112$ N. (Carga radial, reacciones en los extremos del rodillo presor.)
- $p=3$.
- $n_{rp}=40$ rpm.

Reemplazando los valores anteriores en la ecuación (EC.1.9) se tiene:

$$Cr = 112 \cdot \left(\frac{30000 \cdot 60 \cdot 40}{1000000} \right)^{\frac{1}{3}} = 466 \text{ N.}$$

De acuerdo al catálogo general de rodamientos SKF (Ver el Anexo D5), para el diámetro del eje del rodillo presor ($1\frac{1}{4}$ pulg), se selecciona un par de soportes tensor TU $1\frac{1}{4}$ Tf o su designación comercial UCT 207 - 104.

d.2. Rodamiento del rodillo tractor.

El rodillo tractor se monta sobre soportes de piso con rodamiento Y, para su selección se consideran los siguientes datos:

- $L_{10h}=30000$ h. (Según el Anexo D1).
- $P=275$ N. (Carga radial, reacciones en los extremos del rodillo tractor.)
- $p=3$.
- $n_{rt}=40$ rpm.

Reemplazando los valores anteriores en la ecuación (EC.1.9) se tiene:

$$Cr = 275 \cdot \left(\frac{30000 \cdot 60 \cdot 40}{1000000} \right)^{\frac{1}{3}} = 1144 \text{ N.}$$

Del catálogo general de rodamientos SKF (Ver el Anexo D4), para el diámetro del eje del rodillo tractor (1¼ pulg), se selecciona un par de soportes de piso SY 1¼ Tf o su designación comercial UCP 207 - 104.

2.3.7. Diseño de la transmisión de potencia del sistema de arrastre.

a. Potencia requerida por el sistema de arrastre.

Del diagrama de cuerpo libre de la Figura 2,76 se deduce también:

$$\sum \leftarrow^+ F_x = 0.$$

$$F_{R1} - fr_n - FT_{PVC} - F_{CL} = 0.$$

$$F_{R1} = fr_n + FT_{PVC} + F_{CL}. \quad EC.2.34$$

Donde:

F_{R1} : Fuerza desarrollada por el sistema de arrastre [N].

FT_{PVC} : Tensión generada en la lámina PVC durante el arranque del sistema de desbobinado ($FT_{PVC}=22,4$ N).

fr_n : Fuerza de fricción entre la lámina PVC y los rodillos del sistema de arrastre [N].

F_{CLT} : Fuerza total requerida para efectuar el corte longitudinal [N].

La fuerza de fricción total (fr_n) entre la lámina PVC y los rodillos del sistema de arrastre se determina a partir de la expresión:

$$fr_n = 2\mu_1 \cdot N_n. \quad EC.2.35$$

Donde:

μ_1 : Coeficiente de fricción entre el PVC y el caucho natural ($\mu_1=0,15$). Este coeficiente se multiplica por 2 debido a que la fuerza de fricción se genera en ambas caras de la lámina PVC.

N_n : Fuerza normal ($N_n=325$ N).

Reemplazando los valores en la ecuación EC.2.35 se tiene:

$$fr_n = 2(0,15) \cdot 325 \text{ N} = 97,5 \text{ N}.$$

En la Figura 2.81 se puede visualizar la fuerza provocada por una cuchilla del sistema de corte longitudinal durante el arrastre de la lámina.

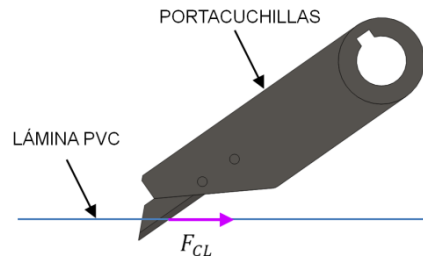


Figura 2.81 Fuerza de corte ejercida en la lámina PVC.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

Se define que para el corte longitudinal una cuchilla ejerce una fuerza de corte (F_{CL}) en dirección contraria al arrastre de 5 N, al tener 6 cuchillas la Fuerza de corte total (F_{CLT}) queda definida por:

$$F_{CLT} = F_{CL} \cdot 6. \quad EC.2.36$$

$$F_{CLT} = 5 \text{ N} \cdot 6 = 30 \text{ N}.$$

Reemplazando los valores correspondientes en la ecuación EC.2.34, se obtiene:

$$F_{R1} = 97,5 + 22,4 + 30 = 149,9 \text{ N}.$$

La potencia requerida por el sistema de arrastre se determina a partir de la siguiente ecuación:

$$P_{ARS} = F_{R1} \cdot v_{PVC}. \quad EC.2.37$$

Siendo:

P_{ARS} : Potencia requerida por el sistema de arrastre [W].

F_{R1} : Fuerza desarrollada por el sistema de arrastre ($F_{R1}=149,9 \text{ N}$).

v_{PVC} : Velocidad de la lámina PVC ($v_{PVC}=0,167 \text{ m/seg}$).

Entonces:

$$P_{ARS} = 149,9 \text{ N} \cdot 0,167 \frac{\text{m}}{\text{seg}} = 25 \text{ W}.$$

Y el par necesario (T_t) en el eje del rodillo tractor es:

$$T_t = \frac{P_{ARS} \cdot 9550}{n_{rt}}. \quad EC.2.38$$

$$T_t = \frac{0,025 \cdot 9550}{40} = 5,96 \text{ N.m.}$$

b. Selección del tipo de motor.

Para la operación normal de la máquina se requiere una serie de arranques y paros continuos en el motor, además de una buena precisión en el arrastre del material. Acorde a las tendencias tecnológicas actuales, se concluye que la mejor opción para el accionamiento del sistema de arrastre de la máquina es un servo motor.

c. Potencia del servo motor.

La potencia requerida de acuerdo a los cálculos realizados fue de 25 W, utilizando un margen de seguridad de 1,5 con el objeto contemplar situaciones particulares adversas en el servo motor, se obtiene una potencia $P_{sm}=37,5 \text{ W}$.

Del catalogo GSK se selecciona el servo motor 130SJT-M040D cuyas características técnicas se muestran en el Anexo E. Si bien el motor seleccionado no proporciona el par demandado de 5,96 N.m, esto se corregirá mediante la relación de transmisión de las correas dentadas.

d. Selección de la banda dentada. [23]

La potencia del servo motor se transmite al sistema de arrastre por medio de una banda dentada de perfil trapecial como se muestra en la Figura 2.82.

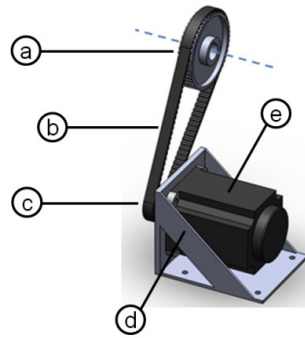


Figura 2.82 Transmisión de potencia al sistema de arrastre.

- a) Polea dentada mayor, b) Banda dentada,
c) Polea dentada menor, d) Base servo motor, e) Servo motor.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

En el mercado nacional se logró conseguir una polea de 20 dientes y otra de 48 dientes, ambas en paso de $\frac{3}{8}$ es decir para bandas dentadas tipo L. Una vez que se conoce el número de dientes de cada polea, se obtiene una relación de transmisión (α) de:

$$\alpha = \frac{Z_{48}}{Z_{20}}. \quad EC.2.39$$

$$\alpha = \frac{48}{20} = 2,4.$$

Si la polea mayor se acopla al eje del rodillo tractor y la polea menor al eje del servo motor, entonces el par requerido en el servo motor es:

$$T_{20} = \frac{T_{48}}{\alpha}. \quad EC.2.40$$

$$T_{20} = \frac{5,96 \text{ N.m}}{2,4} = 2,48 \text{ N.m}.$$

De acuerdo al resultado anterior el par requerido en el motor es de 2,48 N.m, lo cual garantiza que se puede utilizar el servo motor previamente seleccionado.

Si la polea mayor gira a una velocidad de 40 rpm, entonces la velocidad de la polea menor es:

$$n_{20} = n_{48} \cdot \alpha. \quad EC.2.41$$

$$n_{20} = 40 \text{ rpm} \cdot 2,4 = 96 \text{ rpm}.$$

Conforme al Anexo E (Pág. 1 de 3), el servo motor suministra una potencia de 1 KW, sin embargo, la potencia que debe transmitir la banda dentada es solo la requerida por el sistema de arrastre ($P_{sm}=37,5$ W).

La potencia de diseño real del sistema de arrastre para un factor de servicio de 1,6 de acuerdo al Anexo F1 es:

$$P_D = f_s \cdot P_{sm}. \quad EC.2.42$$

$$P_D = 1,6 \cdot 37,5 \text{ W} = 60 \text{ W}.$$

Considerando la potencia de diseño y la velocidad de giro de la polea menor, mediante el Anexo F2 se selecciona una banda dentada tipo L.

Para determinar la anchura de la banda dentada se utiliza la expresión:

$$f_w = \frac{P_D}{P_R}. \quad EC.2.43$$

Donde:

f_w : Factor de anchura.

P_D : Potencia de diseño [W].

P_R : Potencia básica [W].

A su vez la potencia básica se calcula con la expresión:

$$P_R = 0,746 \cdot Z \cdot [0,436 - (3,01 \cdot 10^{-4} \cdot Z^2)]. \quad EC.2.44$$

Y el valor de (Z) se encuentra mediante:

$$Z = \frac{D_{p1} \cdot r}{25,4}. \quad EC.2.45$$

Siendo:

D_{p1} : Diámetro primitivo de la polea menor [mm].

r : Velocidad de giro de la polea menor dividida entre 1000.

$$r = \frac{n_{20}}{1000}. \quad EC.2.46$$

Reemplazando los valores respectivos en la ecuación anterior se tiene:

$$r = \frac{n_{20}}{1000} = \frac{96}{1000} = 0,096 .$$

Entonces el valor de (Z) es:

$$Z = \frac{D_{p1} \cdot r}{25,4} = \frac{60,64 \cdot 0,096}{25,4} = 0,23 .$$

Finalmente se encuentra una potencia básica de:

$$P_R = 0,746 \cdot 0,12 [0,436 - (3,01 \cdot 10^{-4} \cdot 0,12^2)] = 74,8 W .$$

Reemplazando los valores en la ecuación (EC.2.43), el factor de anchura es:

$$f_w = \frac{P_D}{P_R} = \frac{60 W}{74,8 W} = 0,8 .$$

Basándose en el Anexo F3, el ancho de la banda requerido es de 25,4 mm es decir 1 pulg.

A partir del tipo de banda y su anchura, se selecciona una correa plana dentada de perfil trapecial OPTIBELT 345L-100.

2.3.8. Diseño del sistema de corte transversal.

Para el corte transversal de la lámina de PVC se dispone de una cuchilla con filo de corte tipo V fabricada en acero BOHLER K110 como se aprecia en la Figura 2.83.



Figura 2.83 Modelado de la cuchilla de corte.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

El acero BOHLER K110 (Ver el Anexo A5) se emplea específicamente para la fabricación de cuchillas para corte de madera, metal, plástico, papel y cartón. De acuerdo a la aplicación de la máquina, el fabricante de la cuchilla recomienda que la misma tenga un ángulo de corte de 60° y un ángulo de filo 20° .

El sistema de corte transversal esta dividido en cuatro partes principales las cuales se citan a continuación:

- a) Portacuchilla.
- b) Guía lineal.
- c) Pisador.
- d) Mesa de fijación.

En la Figura 2.84 se puede observar los elementos que conforman el sistema de corte transversal.

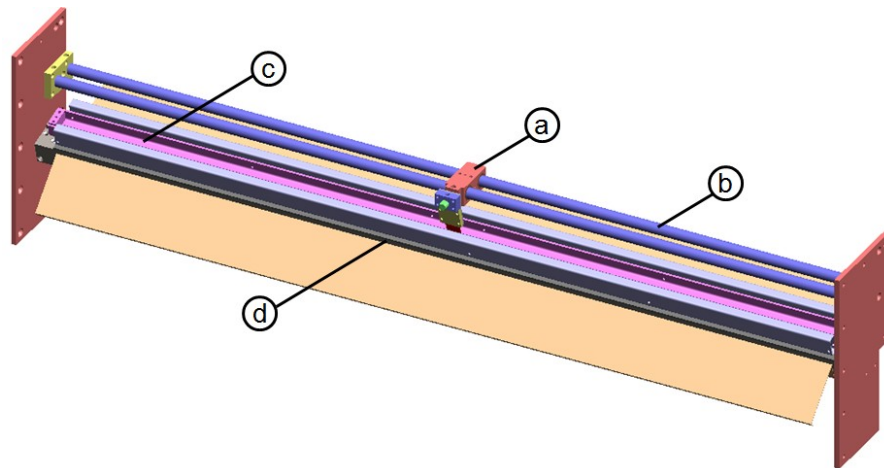


Figura 2.84 Sistema de corte transversal.

a) Portacuchilla, b) Guía lineal, c) Pisador, d) Mesa de fijación.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

a. Determinación de cargas.

Las cargas que actúan en el sistema de corte transversal son:

En la mesa de fijación:

- Cargas muertas (Acción de la gravedad).
- Peso del pisador.
- Peso de soportes de entrada y salida de material.

En la guía lineal:

- Cargas muertas (Acción de la gravedad).
- Peso del portacuchilla.

b. Modelado de los componentes del sistema de corte transversal.

b.1. Portacuchilla.

La cuchilla se sujeta firmemente en el portacuchilla mostrado en la Figura 2.85.

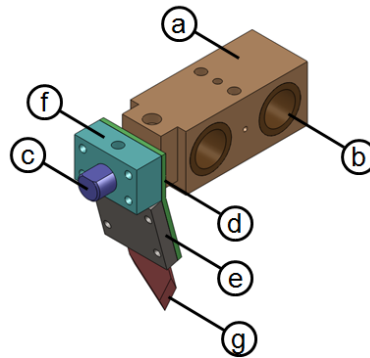


Figura 2.85 Portacuchilla.

- a) Bloque deslizador, b) Casquillo, c) Eje portacuchilla,
d) Placa portacuchilla, e) Prisionero, f) Posicionador, g) Cuchilla.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

Dentro del bloque deslizador se acoplan un par de casquillos de bronce los cuales conducen el movimiento lineal necesario para el corte del film PVC.

Una vez asignados los materiales a cada uno de los componentes del portacuchilla, se determina que el mismo tiene un peso de 14 N.

b.2. Guía lineal.

La guía lineal dirige el desplazamiento del portacuchilla, de manera que se garantiza un corte completamente rectilíneo. En la Figura 2.86 se puede visualizar el ensamble de la guía lineal.

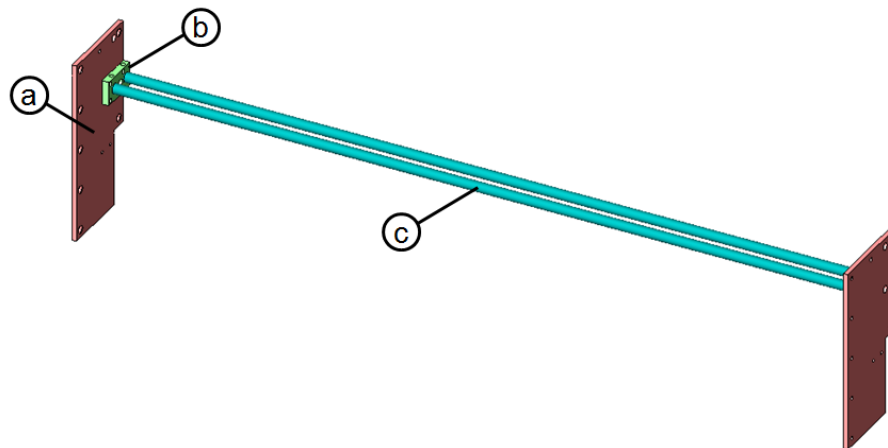


Figura 2.86 Guía lineal.

a) Placa lateral, b) Soporte lineal, c) Ejes principales.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

Sobre los ejes principales se deslizan los casquillos del portacuchilla, adicionalmente las placas laterales sirven para acoplar el sistema de corte transversal a la estructura de la máquina.

b.3. Pisador.

El pisador indicado en la Figura 2,87, sujeta la lámina PVC contra la mesa de fijación durante el corte. Un par de actuadores neumáticos permiten subir y bajar este dispositivo en cada ciclo.

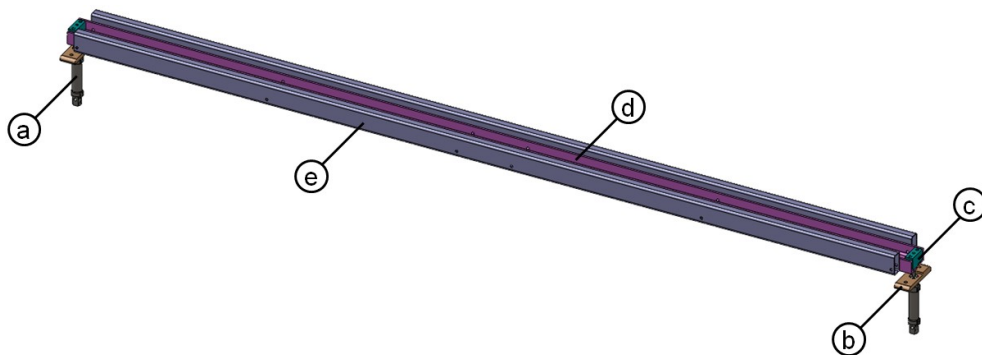


Figura 2.87 Pisador.

a) Actuador, b) Soporte actuador, c) Soporte pisador,
d) Ángulo pisador, e) Refuerzo.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

Luego que se ha optimizado el diseño y se han asignado los materiales a cada componente del pisador, se determina que el mismo alcanza un peso de 103 N.

b.4. Mesa de fijación.

La mesa de fijación soporta la reacción que genera el pisador durante la sujeción de la lámina PVC, de esta manera se asegura que la cuchilla pueda penetrar con facilidad y ejecutar el corte. En la Figura 2.88 se visualizan los componentes de la mesa de fijación.

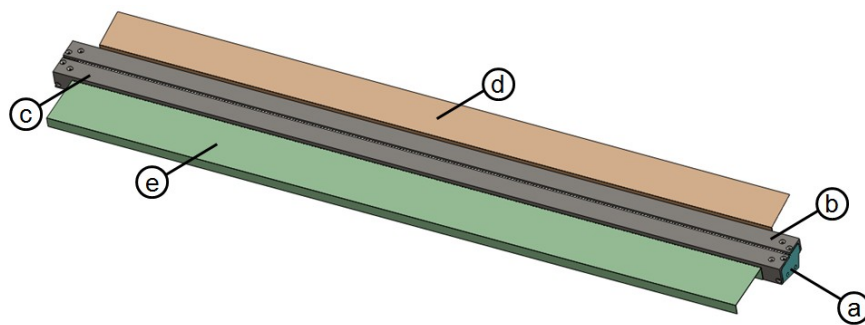


Figura 2.88 Mesa de fijación.

- a) Soporte mesa, b) Ángulo mesa superior, c) Ángulo mesa inferior,
d) Chapa superior, e) Chapa inferior.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

c. Simulación y análisis de esfuerzos.

Después de ensamblar los componentes mecánicos del sistema de corte transversal (Ver la Figura 2.89), se crea un estudio de diseño en SolidWorks Simulation y se ejecuta el análisis de esfuerzos.

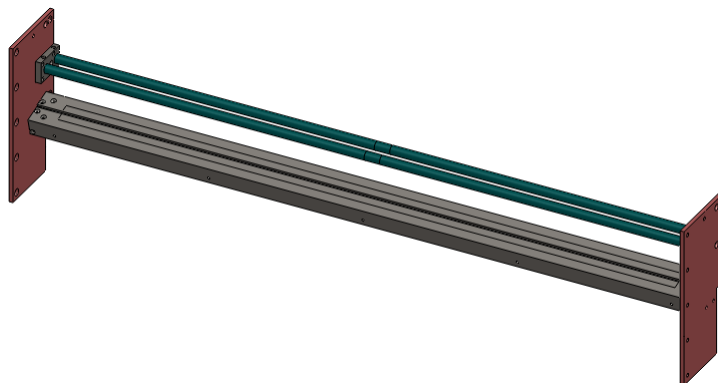


Figura 2.89 Ensamble - Guía lineal y mesa de fijación.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

Para la simulación y análisis de este sistema se establece como objetivo el conseguir una deflexión inferior a los 0,5 mm tanto en los ejes principales como en los ángulos que forman la mesa de fijación.

c.1. Asignación de materiales.

En las Tablas 2.15 y 2.16 se muestran los materiales asignados a los diferentes componentes del sistema de corte transversal.

Tabla 2.15 Materiales asignados a la guía lineal.

| N°- | Nombre del componente sólido | Material |
|-----|------------------------------|-----------|
| 1 | EJE PRINCIPAL. | AISI 1018 |
| 2 | SOPORTE LINEAL. | ASTM A 36 |
| 3 | PLACA LATERAL. | ASTM A 36 |

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

Tabla 2.16 Materiales asignados a la mesa de fijación.

| N°- | Nombre del componente sólido | Material |
|-----|------------------------------|-----------|
| 1 | SOPORTE MESA. | ASTM A 36 |
| 2 | ÁNGULO MESA SUPERIOR. | ASTM A 36 |
| 3 | ÁNGULO MESA INFERIOR. | ASTM A 36 |

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

c.2. Asignación de cargas y restricciones.

Conforme a las cargas establecidas anteriormente y tomando en cuenta las zonas donde se fija este sistema, se asignan las cargas y restricciones como se indica en la Figura 2.90.

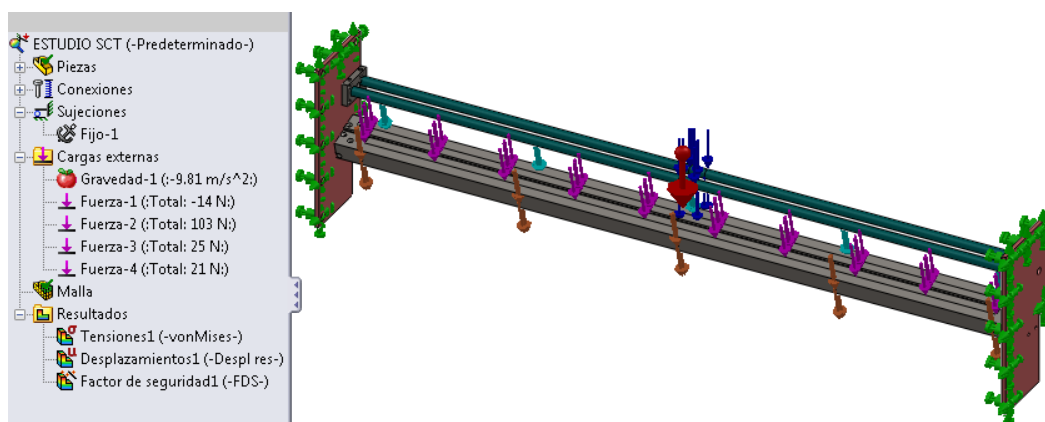


Figura 2.90 Cargas y restricciones - Sistema de corte transversal.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

c.3. Resultados.

Una vez que se ha mallado el ensamble y se ha ejecutado el estudio de diseño, se consiguen las gráficas de simulación del Anexo I5. Al analizar cada una de las gráficas se entregan los siguientes resultados:

La máxima Tensión de Von Mises en el sistema de corte transversal se presenta en el ángulo mesa superior y su valor es de 30,855 MPa, no obstante, esta tensión es menor que el límite de fluencia del acero ASTM A 36 con el cual se fabricará dicho componente, por lo tanto se afirma que este sistema es capaz de resistir dicha tensión.

Con respecto al trazado de la distribución del Factor de Seguridad, se puede apreciar que las zonas más críticas se hallan en los extremos del ángulo mesa superior, el valor mínimo obtenido es de 6,65, lo cual garantiza que el diseño es confiable.

Por último, se obtiene un desplazamiento resultante máximo de 0,41 mm originado en la parte central de los ejes principales, sin embargo, esta deformación no altera el funcionamiento normal del sistema.

2.3.9. Diseño de la transmisión de potencia del sistema de corte transversal.

a. Actuador de cable.

El movimiento del portacuchilla a lo largo de la guía lineal se efectúa mediante un actuador de cable como el mostrado en la Figura 2.91.

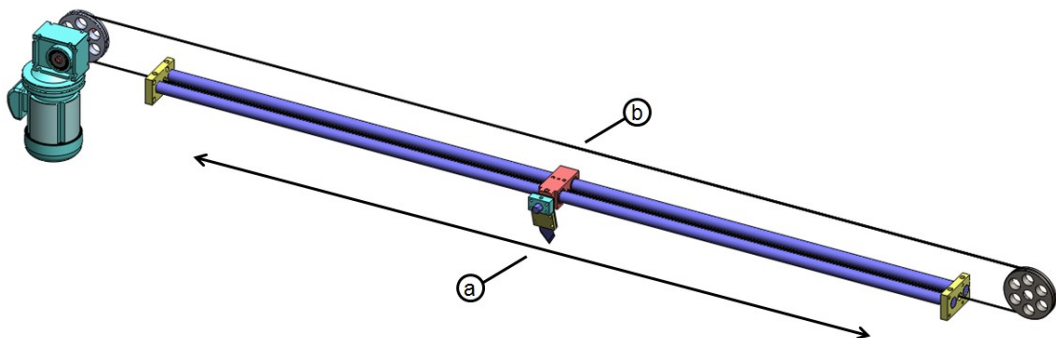


Figura 2.91 Actuador de cable.

a) Desplazamiento del portacuchilla, b) Cable de acero.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

El cable de acero se tensa entre dos poleas y cada extremo del cable se une al portacuchillas, de esta manera se consigue un sistema parecido al de una transmisión por bandas.

Como se puede visualizar en la Figura 2.92, una de las poleas del actuador de cable se acopla al eje de un motorreductor, con lo cual se logra convertir el movimiento circular de las poleas en movimiento lineal del portacuchillas.

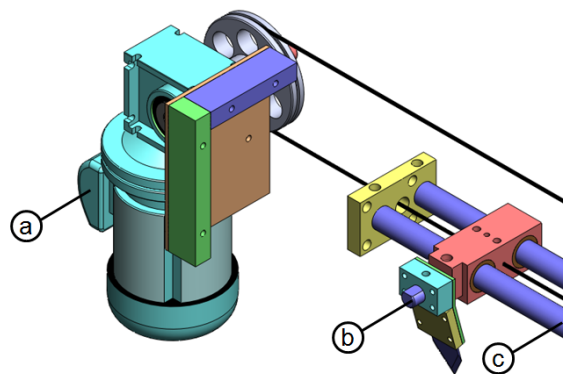


Figura 2.92 Ensamble - Motorreductor.

a) Motorreductor, b) Portacuchilla, c) Guía lineal.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

La polea restante se ensambla a un mecanismo tensor (Ver la Figura 2.93), el cual permite dar una tensión adecuada al cable y evitar que este se deslice entre el arreglo de poleas.

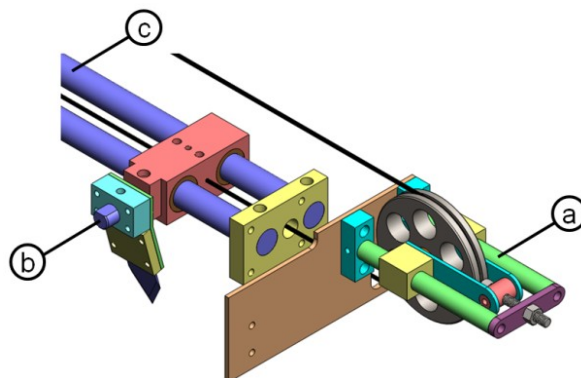


Figura 2.93 Mecanismo tensor.

a) Mecanismo tensor, b) Portacuchilla, c) Guía lineal.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

b. Potencia requerida por el sistema de corte transversal.

Como se estableció en la sección 2.3.1, el tiempo de corte transversal por ciclo, es decir el tiempo destinado para realizar un corte es de 1,5 seg.

La velocidad lineal de operación de la portacuchilla (v_{LP}) se encuentra mediante la ecuación:

$$v_{LP} = \frac{l_{AP}}{TCT_C}. \quad EC.2.47$$

Donde:

l_{AP} : Longitud de acción del portacuchillas ($l_{AP}=1,5$ m).

TCT_C : Tiempo de corte transversal por ciclo ($TCT_C=1,5$ seg).

Reemplazando en la ecuación EC.2.47 se tiene:

$$v_{LP} = \frac{1,5 \text{ m}}{1,5 \text{ seg}} = 1 \frac{\text{m}}{\text{seg}}.$$

Si la polea acoplada al motorreductor tiene un radio de 0,05 m, la velocidad angular (ω_{PM}) a la que debe girar para mantener una velocidad lineal de 1 m/s en el portacuchilla se encuentra mediante la expresión.

$$\omega_{PM} = \frac{v_{LP}}{r_{PM}}. \quad EC.2.48$$

Donde:

r_{PM} : Radio de la polea en montaje con el motorreductor [m].

Entonces se tiene:

$$\omega_{PM} = \frac{1 \frac{\text{m}}{\text{seg}}}{0,05 \text{ m}} = 20 \frac{\text{rad}}{\text{seg}}.$$

$$\therefore n_{PM} \approx 191 \text{ rpm}.$$

La fuerza (F_{DP}) necesaria para provocar el movimiento del portacuchilla se determina a partir del diagrama de la Figura 2.94.

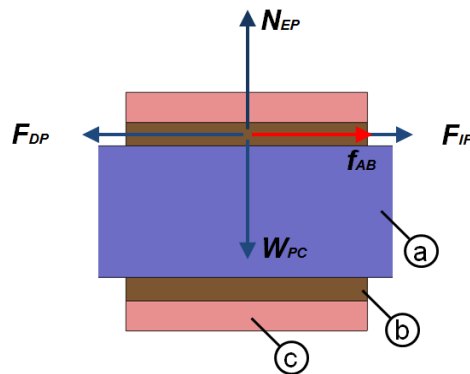


Figura 2.94 Diagrama de cuerpo libre - portacuchilla.

a) Eje principal, b) Casquillo, c) Bloque deslizador.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

Al analizar el diagrama de cuerpo libre de la Figura 2.94 se deduce:

$$\sum \uparrow^+ Fy = 0.$$

$$N_{EP} - W_{PC} = 0.$$

$$N_{EP} = W_{PC}. \quad EC.2.49$$

Siendo:

N_{EP} : Fuerza normal entre el portacuchilla y los ejes principales [N].

W_{PC} : Peso del portacuchilla ($W_{PC}=14$ N).

La fuerza debida a la fricción entre el portacuchilla y los ejes principales se encuentra a partir de:

$$f_{AB} = \mu_2 \cdot N_{EP}. \quad EC.2.50$$

Donde:

f_{AB} : Fuerza de fricción entre el portacuchilla y los ejes principales [N].

μ_2 : Coeficiente de fricción entre el bronce y el acero. ($\mu_2=0,18$)

Remplazando en la ecuación EC.2.50 se obtiene:

$$f_{AB} = 0,18 \cdot 14 \text{ N} = 2,5 \text{ N}.$$

De la misma forma, del diagrama de la Figura 2.94 se deduce:

$$\sum \leftarrow^+ Fx = 0.$$

$$F_{DP} - f_{AB} - F_{IP} = 0.$$

$$F_{DP} = f_{AB} + F_{IP}. \quad EC.2.51$$

Siendo:

F_{DP} : Fuerza requerida para el desplazamiento del portacuchilla [N].

F_{IP} : Fuerza requerida para la inserción de la cuchilla en el film PVC.

($F_{IP}=20$ N)

Entonces:

$$F_{DP} = 2,5 \text{ N} + 20 \text{ N} = 22,5 \text{ N}.$$

El par (T_{DP}) que debe transmitir la polea acoplada al motorreductor se encuentra mediante la expresión:

$$T_{DP} = F_{DP} \cdot r_{PM}. \quad EC.2.52$$

$$T_{DP} = 22,5 \text{ N} \cdot 0,05 \text{ m} = 1,125 \text{ N} \cdot \text{m}.$$

Finalmente, la potencia necesaria para el desplazamiento del portacuchilla es:

$$P_{DP} = F_{DP} \cdot v_{LP}. \quad EC.2.53$$

$$P_{DP} = 22,5 \text{ N} \cdot 1 \frac{\text{m}}{\text{seg}} = 22,5 \text{ W}.$$

c. Selección del cable para el actuador.

La selección del diámetro del cable requerido para halar el portacuchillas se realiza a partir de la fuerza requerida para el desplazamiento de dicho portacuchillas ($F_{DP}=22,5$ N).

Entonces la tensión que debe soportar el cable es:

$$T_{Cable} = F_{DP}. \quad EC.2.54$$

$$T_{Cable} = 22,5 \text{ N}.$$

El factor de seguridad mínimo recomendado para cables metálicos de arrastre según la norma ANSI A17.1 es de 6, por lo tanto el cable seleccionado debe tener una carga mínima de rotura de [24]:

$$F_{rotura} \geq 6 \cdot T_{Cable}. \quad EC.2.55$$

$$F_{rotura} \geq 6 \cdot 22,5 N.$$

$$F_{rotura} \geq 135 N. (13,76 Kg)$$

De la Tabla 2.17 se selecciona un cable de acero inoxidable AISI 304 7x19 de 2,50 mm de diámetro el cual posee una carga de rotura de 430 Kg.

Tabla 2.17 Cable de acero inoxidable AISI 304 7x19 Extra - Flexible.

| Diámetro [mm] | Peso aprox. [Kg/1000 m] | AISI 304 Carga de Rotura [Kg] |
|---------------|-------------------------|-------------------------------|
| 2,00 | 16,70 | 295 |
| 2,50 | 26,00 | 430 |
| 3,00 | 37,00 | 540 |
| 4,00 | 67,00 | 10,89 |

Fuente: <http://www.costanerauno.com.ar/>

d. Selección del motor.

La potencia requerida para accionar el sistema de corte transversal, de acuerdo a los cálculos realizados fue de 22,5 W, utilizando un margen de seguridad de 1,5 con el objeto contemplar situaciones particulares adversas en el motor se obtiene una potencia ($P_{MR}=34 W$).

Del catálogo de motores eléctricos MOTIVE se selecciona un motor asíncrono trifásico tipo 56B-4, cuyas características técnicas se muestran en el Anexo E (Pág. 2 de 3).

e. Selección del reductor de velocidad.

Para la selección del reductor se consideran los siguientes datos:

- Tipo de motor: Motor asíncrono trifásico 56B-4.
- Potencia entregada por el motor: 90 W.
- Velocidad requerida en la salida: 191 rpm.
- Par requerido en la salida: 1,125 N.m.

Entonces, del catálogo de reductores MOTIVE, se selecciona un reductor sinfín corona tipo BOX030. Las especificaciones técnicas del reductor de velocidad seleccionado se pueden apreciar en el Anexo E (Pág. 3 de 3).

2.3.10. Diseño de la estructura soporte.

La estructura soporte es el medio utilizado para integrar y enlazar todos los sistemas y demás elementos que conforman la máquina.

a. Determinación de cargas.

Las cargas a tener en cuenta para el diseño de la estructura son:

- Cargas muertas (Acción de la gravedad).
- Reacciones en los puntos donde cada sistema se une a la estructura.
- Peso de los componentes del tablero eléctrico y de control.

La Tabla 2.18 presenta las reacciones que se generan en las zonas de apoyo, donde cada sistema se acopla a la estructura soporte.

Tabla 2.18 Reacciones en zonas de apoyo.

| ÍTEM | SISTEMA | CARGAS | VALOR [N] |
|------|--------------------------------|---|-----------|
| 1 | Sistema de desbobinado. | Reacción en la base del mecanismo A. | 320 |
| | | Reacción en la base del mecanismo B. | 280 |
| 2 | Sistema de guiado. | Reacción en cada soporte de piso de los rodillos guía. | 36 |
| 3 | Sistema de corte longitudinal. | Reacción en cada soporte de piso del sistema de corte longitudinal. | 65 |
| 4 | Sistema de arrastre. | Reacción en cada placa base del sistema de arrastre. | 300 |
| | | Reacción en la base del servo motor. | 110 |
| 5 | Sistema de corte transversal. | Reacción en cada placa lateral. | 275 |
| | | Reacción en la base del motorreductor. | 70 |
| | | Reacción en la placa soporte del mecanismo tensor. | 25 |

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

Para efectos de diseño, se estima un valor de 200 N como el peso de los componentes del tablero eléctrico y de control.

b. Modelación de la estructura soporte.

Dada la complejidad en la geometría de la estructura, se probaron diferentes opciones hasta conseguir el diseño más apropiado conforme a las necesidades de montaje en cada sistema. En la Figura 2.95 se muestra la modelación de la estructura soporte.

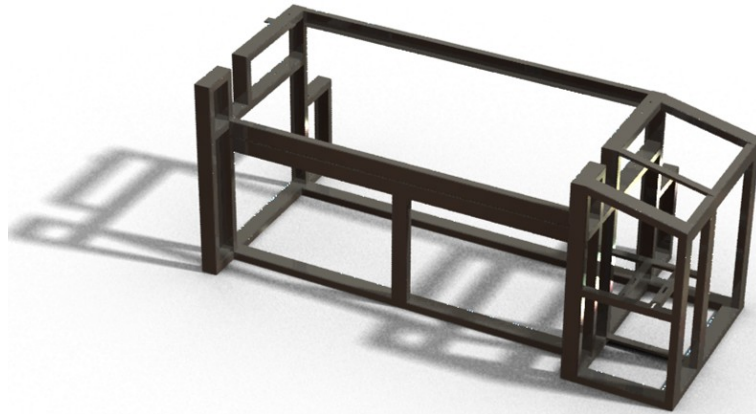


Figura 2.95 Estructura soporte.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

c. Simulación y análisis de esfuerzos.**c.1. Asignación de materiales.**

La estructura está formada por canales “U”, dichos perfiles se fabrican en acero ASTM A 500 ($S_y=215$ MPa). En el Anexo A6 se muestran las especificaciones generales de los perfiles estructurales elegidos.

c.2. Asignación de cargas y restricciones.

Considerando las cargas establecidas en la Tabla 2.18 y también las zonas donde se fijará este componente, se asignan las cargas y restricciones mostradas en la Figura 2.96.

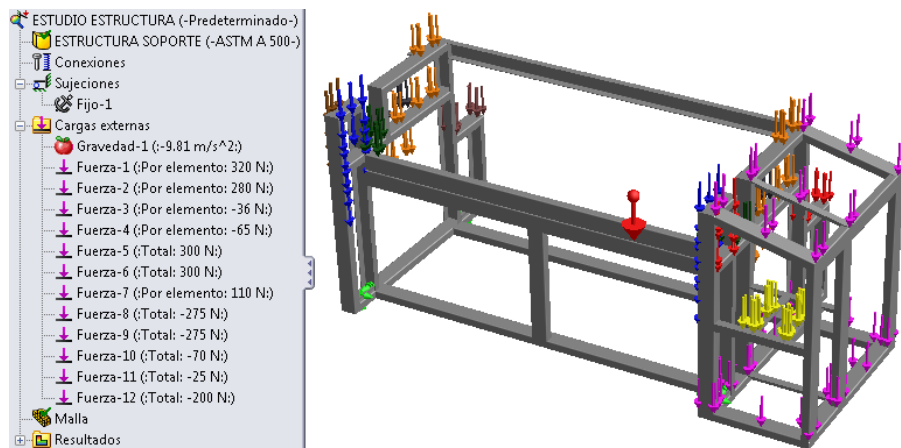


Figura 2.96 Asignación de cargas y restricciones - estructura soporte.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

c.3. Resultados.

De acuerdo con las gráficas de simulación del Anexo I6, se emiten las siguientes conclusiones:

La máxima Tensión de Von Mises se origina en la base de la estructura y alcanza un valor de 52,355 MPa, no obstante, esta tensión es menor que el límite de fluencia del acero ASTM A 500, por lo tanto se asegura que la estructura soporte es capaz de resistir dicha tensión.

Con respecto al trazado de la distribución del Factor de Seguridad, se puede apreciar que la zona más crítica se sitúa en el apoyo posterior derecho de la estructura, el valor mínimo obtenido es de 4,11, lo cual garantiza que el diseño es confiable.

También, se obtiene un desplazamiento resultante máximo de 0,6 mm localizado en la parte central de uno de los perfiles que forman la base de la estructura. Se considera despreciable ya que se trata de una deformación bastante pequeña ubicada en un punto donde no afecta el correcto desempeño de la estructura.

Finalmente luego de haber terminado con el diseño de todos los componentes mecánicos de la máquina, se realiza el montaje completo en SolidWorks como se puede apreciar en las Figuras 2.97 y 2.98.

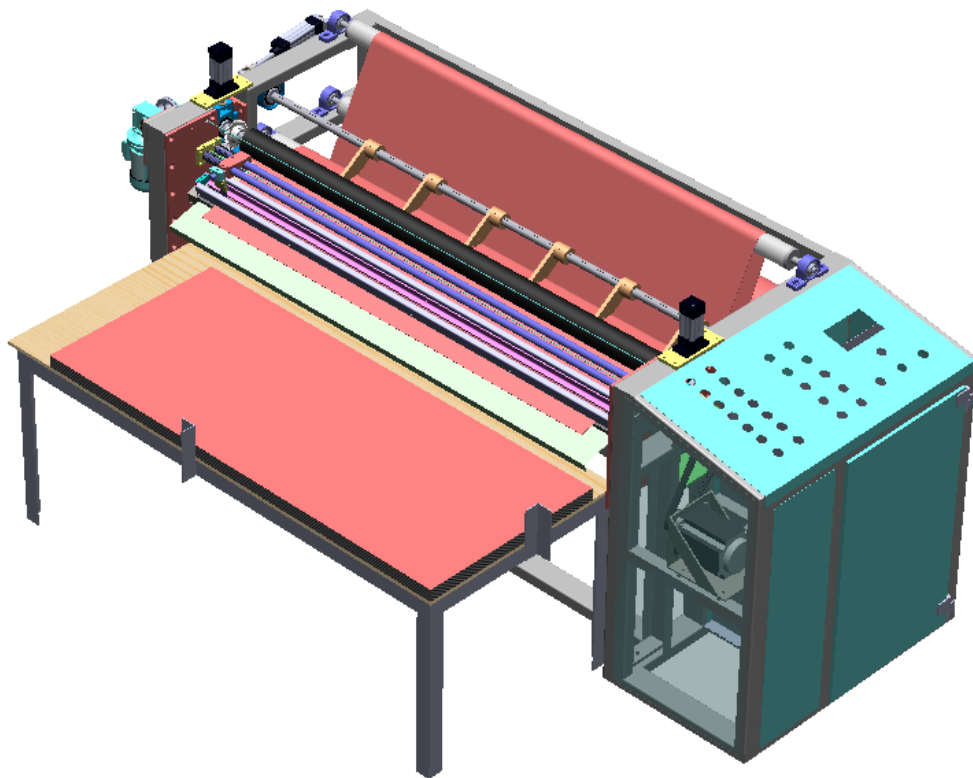


Figura 2.97 Ensamble - máquina cortadora (Imagen frontal).

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

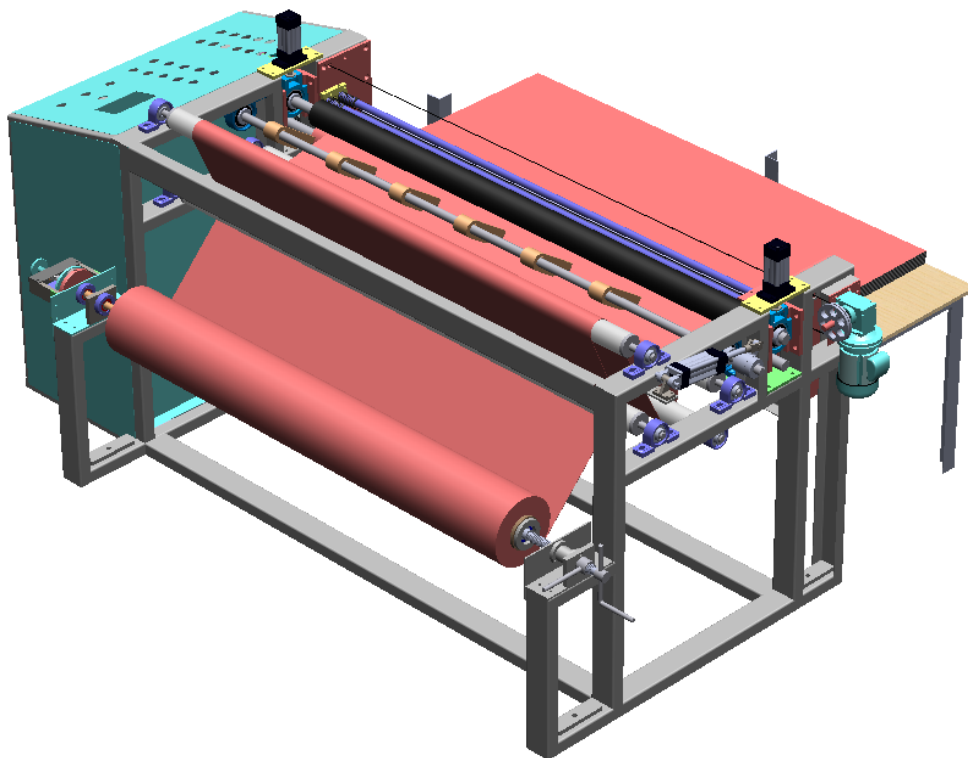


Figura 2.98 Ensamble - máquina cortadora (Imagen posterior).

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

2.4. DISEÑO NEUMÁTICO.

El diseño del sistema neumático permite establecer los actuadores neumáticos adecuados para dar el movimiento requerido a los diferentes sistemas mencionados en el diseño mecánico.

2.4.1. Descripción del sistema neumático.

La toma de aire para el sistema neumático de la máquina se realiza a partir de la instalación neumática de la empresa, donde la presión entregada es de 7 bar.

A la entrada del sistema neumático de la máquina se instalará una unidad de mantenimiento FLR con el fin de:

- Eliminar el agua condensada arrastrada por el aire a lo largo de las tuberías hacia los órganos de trabajo y módulos de mando.
- Detener las partículas sólidas que contiene el aire comprimido en suspensión.
- Regular la presión de utilización del aire comprimido manteniéndola constante dentro de los límites aceptables.
- Engrasar el aire comprimido para lubricar los elementos neumáticos que lo precisen.

La máquina cortadora funciona con cilindros de doble efecto con amortiguación en ambos sentidos para así evitar choques bruscos tanto en el avance como en el retorno de los vástagos en cada cilindro.

De acuerdo a lo establecido en el diseño mecánico, se ocuparán los siguientes cilindros:

- 1 cilindro para el accionamiento del eje portacuchillas del sistema de corte longitudinal.
- 2 cilindros para elevar el rodillo presor del sistema de arrastre.
- 2 cilindros para elevar pisador del sistema de corte transversal.

Todos los cilindros neumáticos se comandarán por medio de electroválvulas, para lo cual se necesitan 3 electroválvulas 5/3 centro cerrado. Se emplea una válvula de cuerpo colizante 3/2 ubicada a la salida de la unidad FRL con el fin de quitar la presión al todo el sistema neumático cuando se le de mantenimiento a la máquina.

Debido a la presión que se va a manejar, y con la finalidad de tener control en la velocidad de salida y retorno de los vástagos de cada cilindro se utilizan válvulas reguladoras de caudal.

Adicionalmente se requiere que la fuerza de salida de los cilindros que elevan el rodillo presor sea regulable, por lo que se emplea un regulador de presión en la línea de entrada que alimenta a dichos cilindros.

La alimentación hacia las electroválvulas se realizará mediante una base manifold, y con el fin de evitar ruidos se utilizarán silenciadores de escape.

Para la conexión de los diversos componentes del sistema neumático, se utilizará tubería de poliamida conjuntamente con conectores rectos, conectores codo y conectores T.

2.4.2. Dimensionamiento y selección de cilindros neumáticos.

a. Cilindro neumático - eje portacuchillas.

Este cilindro se encarga de activar o desactivar el eje portacuchillas del sistema de corte longitudinal. Par determinar la fuerza (F_{C1}) requerida en el cilindro neumático se realiza un análisis de movimiento en SolidWorks Motion, donde se obtiene la gráfica de la Figura 2.99.

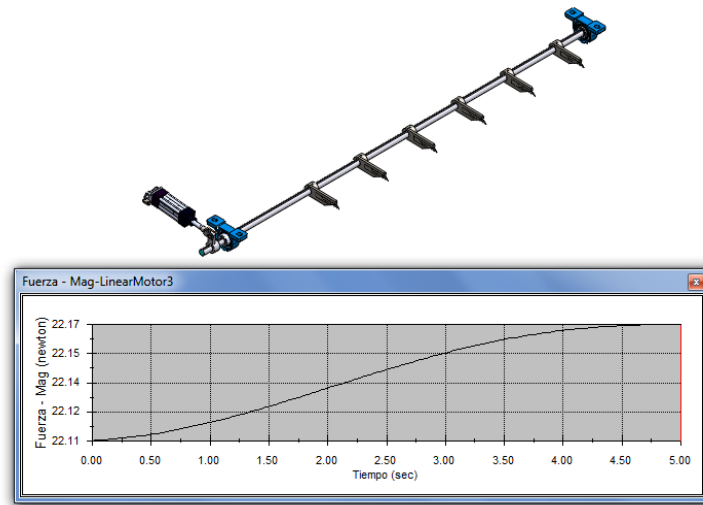


Figura 2.99 Fuerza requerida por el eje portacuchillas.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

En la Figura 2.99 se puede observar que para el accionamiento del eje portacuchillas, el cilindro neumático debe ejercer una fuerza máxima (F_{C1}) de 22,17 N durante el retorno del vástago.

Si se asume una caída de presión del 15% se tiene que la presión disponible es 6 bar. Con estos valores se procede a encontrar el valor del diámetro del cilindro.

La ecuación mediante la cual se puede determinar el diámetro de un cilindro en función de la fuerza requerida y la presión de alimentación se define como:

$$d_{cn} = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{Cn}}{\pi \cdot P}} \quad EC.2.56$$

Dónde:

d_{cn} : Diámetro del cilindro neumático [mm].

F_{Cn} : Fuerza requerida [N].

P : Presión de alimentación [N/mm²].

Análogamente a la ecuación anterior, el diámetro requerido por el cilindro neumático de accionamiento del eje portacuchillas es:

$$d_{c1} = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{c1}}{\pi \cdot P}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 22,17 \text{ N}}{\pi \cdot 0,6 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}} = 6,86 \text{ mm} \approx 7 \text{ mm}.$$

De esta manera se concluye que el cilindro debe tener un diámetro mayor o igual a 7 mm, y una carrera de 60 mm.

De acuerdo a catálogo de elementos neumáticos MINDMAN (Ver el Anexo G3, Pág. 3 de 6) se selecciona un cilindro estándar ISO MCQI-11-32-60M-CDB, el cual tiene las características mostradas en la Tabla 2.19.

Tabla 2.19 Cilindro neumático MCQI-11-32-60M-CDB.

| Cilindro estándar ISO MCQI-11-32-60M-CDB | |
|---|--------------------|
| Diámetro del émbolo. | 32 mm. |
| Diámetro del vástago. | 12 mm. |
| Carrera. | 60 mm. |
| Conexión. | PT $\frac{1}{4}$. |

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

En el Anexo G3, (Pág. 4 de 6) se muestra la selección del conector Y mediante el cual se articula el elemento de acople del eje portacuchillas.

b. Cilindros neumáticos - rodillo presor.

Para posicionar la lámina PVC entre los rodillos del sistema de arrastre se requiere que el rodillo presor pueda levantarse y dejar una cierta abertura con respecto al rodillo tractor.

El rodillo presor pesa 220,6 N, por lo tanto, al tener dos cilindros neumáticos cada uno de ellos debe ejercer una fuerza (F_{c2}) de 110,3 N.

Análogamente a la ecuación (EC.2.56) el diámetro requerido en los cilindros neumáticos para elevar el rodillo presor del sistema de arrastre es:

$$d_{c2} = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{c2}}{\pi \cdot P}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 110,3 \text{ N}}{\pi \cdot 0,6 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}} = 15,3 \text{ mm} \approx 16 \text{ mm}.$$

De esta manera se concluye que ambos cilindros deben tener un diámetro mayor o igual a 16 mm, y por requerimientos de montaje la carrera debe ser de 30 mm.

De acuerdo al catálogo de elementos neumáticos MINDMAN (Ver el Anexo G3, Pág. 2 de 6) se seleccionan dos cilindros estándar ISO MCQI-11-32-30M-FAC, los cuales tienen las características mostradas en Tabla 2.20.

Tabla 2.20 Cilindros neumáticos MCQI-11-32-30M-FAC.

| Cilindros estándar ISO MCQI-11-32-30M-FAC | |
|--|--------|
| Diámetro del émbolo. | 32 mm. |
| Diámetro del vástago. | 12 mm. |
| Carrera. | 30 mm. |
| Conexión. | PT¼. |

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

c. Cilindros neumáticos - pisador.

Durante el corte transversal, el pisador debe sujetar la lámina de PVC contra la mesa de fijación, es decir subir y bajar repetidas veces según el número de cortes requeridos, dicho movimiento se efectuará mediante dos cilindros neumáticos.

El pisador posee un peso de 103 N, por lo tanto cada actuador neumático debe ejercer una fuerza aproximada (F_{C3}) de 52 N.

Análogamente a la ecuación (EC.2.56) el diámetro requerido por los cilindros neumáticos para elevar el pisador del sistema de corte transversal es:

$$d_{C3} = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{C3}}{\pi \cdot P}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 52 \text{ N}}{\pi \cdot 0,6 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}} = 10,5 \text{ mm.}$$

De esta manera se concluye que ambos cilindros tendrá un diámetro mayor o igual a 10,5 mm, y por requerimientos de montaje la carrera debe ser de 25 mm.

Del catálogo de elementos neumáticos MINDMAN (Ver el Anexo G3, Pág. 6 de 6) se selecciona un par de cilindros estándar ISO MCM1-11-16-25 cuyas características se muestran en la Tabla 2.21.

Tabla 2.21 Cilindros neumáticos MCMI-11-16-25.

| Cilindros estándar ISO MCMI-11-16-25 | |
|---|-----------|
| Diámetro del émbolo. | 16 mm. |
| Diámetro del vástago. | 6 mm. |
| Carrera. | 25 mm. |
| Conexión. | M5 x 0.8. |

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

Las características técnicas adicionales de los cilindros a utilizar se exponen en el Anexo G3, (Pág. 5 de 6).

2.4.3. Diseño del circuito neumático.

Utilizando el software Festo FluidSIM 3.6 se realiza el diseño del circuito neumático de la máquina (Ver la Figura 2.100).

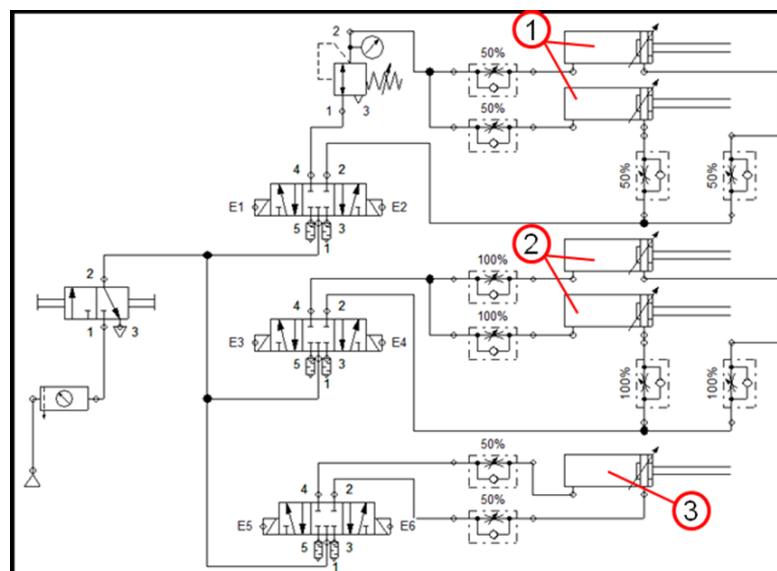


Figura 2.100 Circuito neumático de la máquina.

- 1) Cilindros neumáticos - rodillo presor, 2) Cilindros neumáticos - pisador,
- 3) Cilindro neumático - eje portacuchillas.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

2.4.4. Simulación del circuito neumático.

Para asegurarse que los cilindros neumáticos seleccionados son capaces de desarrollar las fuerzas y movimientos requeridos, se realiza la simulación del circuito neumático como se muestra en la Figura 2.101.

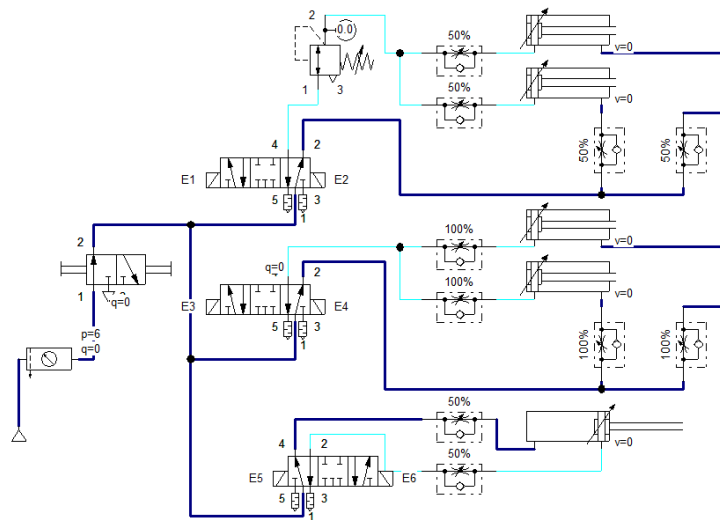


Figura 2.101 Simulación del circuito neumático de la máquina.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

2.4.5. Selección de componentes adicionales para el circuito neumático.

a. Selección de la unidad de mantenimiento (FRL).

Considerando que la máquina opera a una presión de 7 bar, se selecciona la unidad FRL MACP400-15A de acuerdo con el Anexo G4.

b. Selección del regulador de presión.

Para asegurar el arrastre de la lámina PVC se adicionó una fuerza ($F_{CN}=100$ N) provista por los actuadores neumáticos que dan movimiento al rodillo presor, pero como dichos cilindros suministran una fuerza en el avance mucho mayor a los 100 N, se ve necesario el emplear un regulador de presión.

Si se ejerce toda la fuerza desarrollada por ambos actuadores se provoca pandeo en los ejes de los rodillos y se crean claros donde no se produce el arrastre.

A partir de los cilindros seleccionados (Ver Tabla 2.20), se calcula la presión necesaria para ejercer 50 N en el avance de cada cilindro. Análogamente a la ecuación (EC.2.56) dicha presión se define como:

$$P_R = \frac{4 \cdot F_R}{\pi \cdot d_C^2} \quad EC.2.57$$

Dónde:

P_R : Presión regulada [N/mm²].

F_R : Fuerza requerida [N].

d_C : Diámetro del cilindro [mm].

Entonces:

$$P_R = \frac{4 \cdot 50}{\pi \cdot 32^2} = 0,06 \text{ MPa} = 0,6 \text{ bar.}$$

De esta manera se concluye que la presión necesaria para ejercer la fuerza de 50 N en cada cilindro es de 0,6 bar. De acuerdo al catálogo de elementos neumáticos MINDMAN (Ver el Anexo G5) se selecciona un regulador de presión MAR200-8A el cual tiene un rango de regulación de 0,5 a 8,5 bar.

c. Selección de electroválvulas.

Del catálogo de elementos neumáticos Mindman (Ver el Anexo G6, Pág. 1 de 2) se seleccionan 3 electroválvulas 5/3 MVSC-220-4E2C-AC220, tomando en cuenta que la empresa posee una red de corriente alterna de 220 V y que la presión de trabajo de la máquina es 7 bar. También ya que las tres electroválvulas van ubicadas en un solo lugar se selecciona una base manifold MVSC-220-5B3 según el Anexo G6, (Pág. 2 de 2).

Para los orificios de escape de la base manifold se selecciona un par de silenciadores de escape MSL-B-02 (Ver el Anexo G7).

d. Selección de la válvula colizante.

De acuerdo al Anexo G8 y considerando la presión de operación de la máquina es 7 bar, se selecciona una válvula de cuerpo colizante MVHS-10A

e. Selección de reguladores de caudal.

Para la selección de los reguladores de caudal se toma en cuenta el tamaño de conexión de cada cilindro neumático. Del Anexo G9, los reguladores de caudal seleccionados se muestran en la Tabla 2.22.

Tabla 2.22 Selección de reguladores de caudal.

| CILINDRO | CONEXIÓN | REGULADOR DE CAUDAL | CANTIDAD |
|--|------------------|---------------------|----------|
| MCQI-11-32-60M-CDB. MCQI-11-32-30M-FAC. | PT $\frac{1}{4}$ | JSC 8-02 | 6 |
| MCMI-11-16-25. | M5 x 0.8 | JSC 6-M5 | 4 |

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

f. Selección de conectores.

La selección de conectores se realiza a partir de los tamaños de conexión tanto de las electroválvulas como de la base manifold. Los elementos seleccionados de acuerdo con el Anexo G9, se presentan en la Tabla 2.23.

Tabla 2.23 Selección de conectores.

| ELEMENTO | CONEXIÓN | CONECTOR | CANTIDAD |
|----------------------|------------------|---|----------|
| MVSC-220-4E2C-AC220. | PT $\frac{1}{4}$ | Conector codo instantáneo JPL 8-02. | 6 |
| MVSC-220-5B3. | PT $\frac{3}{8}$ | Conector recto instantáneo JPC 8-02. | 1 |

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

g. Selección de la tubería de conexión.

De acuerdo al tamaño de los puertos de los conectores seleccionados y según el Anexo G10 se selecciona una tubería UM 0850-100-BU.

Adicionalmente para la distribución de la red de tuberías, se integran 4 conectores instantáneos T JPE-8 y 4 uniones JPU 8-6 (Ver el Anexo G9).

CAPÍTULO III

DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES DEL SISTEMA ELÉCTRICO - ELECTRÓNICO DE LA MÁQUINA.

3.1. DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL DE LA MÁQUINA.

3.1.1. Selección de modos de operación de la máquina.

De acuerdo con los requerimientos propios del proceso de corte, se decide comandar la máquina en modo manual y modo automático.

a. Control manual.

Se conoce como control manual debido a que una persona actúa sobre algún dispositivo, ya sea un pulsador, pedal, selector, etc., para accionar el circuito.

Este control es necesario en la calibración de la máquina al inicio de cada producción. El control manual está directamente supervisado por un operario, la máquina proporciona la fuerza y la energía, mientras que el trabajador proporciona el control.

b. Control automático.

El control automático de procesos es parte del progreso industrial, básicamente el control automático es el mantenimiento de un valor deseado dentro de una cantidad o condición, midiendo el valor existente, comparando con el valor deseado, y utilizando la diferencia para proceder a reducirla.

Con este tipo de control la máquina realiza el corte de láminas sin la intervención del operario, se requiere de vigilancia cada cierto número de ciclos. Los beneficios que se obtienen son innumerables, por ejemplo productos de mejor calidad, mayor productividad, menor consumo de energía, minimización de desechos, mayores niveles de seguridad, etc.

Para el funcionamiento en modo automático de la máquina, se requiere que un operario ingrese el número de cortes, la medida de las láminas de PVC y la velocidad de los rodillos de arrastre por medio de un OP.

3.1.2. Diseño del circuito eléctrico de mando.

El circuito eléctrico de mando está diseñado para alcanzar un funcionamiento óptimo, evitando de esta manera que la máquina tenga paradas de producción inesperadas e innecesarias. El diseño del diagrama eléctrico de mando se muestra en el Anexo M.

3.1.3. Diseño del panel de control.

Mediante el panel de control el operario puede interactuar directamente con la máquina, por lo tanto se considera un diseño que facilite la ejecución del trabajo y permita una rápida intervención en caso de que ocurra alguna falla.

El panel de control está dividido en tres secciones principales que son:

- Control manual.
- Control automático.
- Luces piloto.

En la Figura 3.1 se muestra la ubicación de cada uno de los componentes del panel de mando de la máquina.

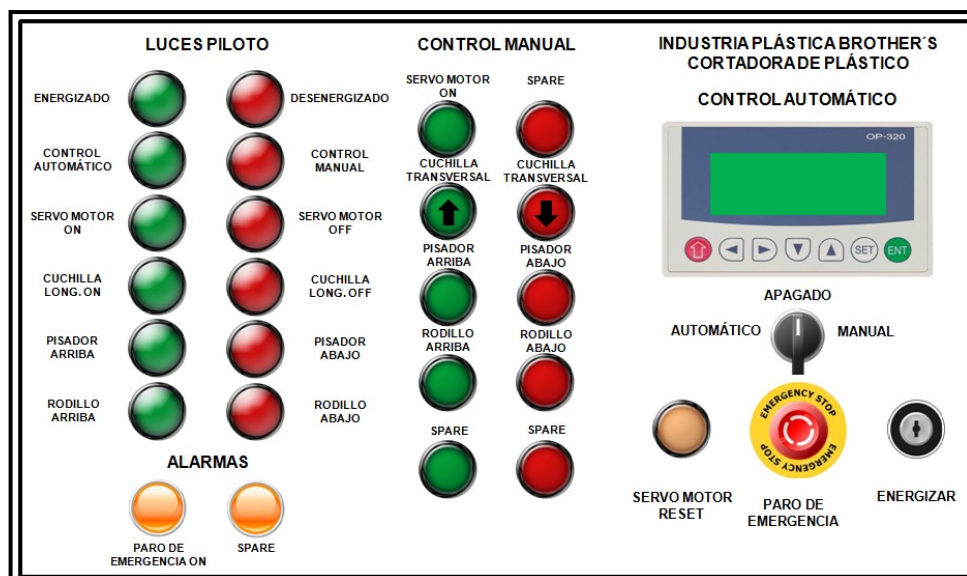


Figura 3.1 Panel de mando.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

De acuerdo al diseño del circuito eléctrico de mando, para la operación en modo manual y modo automático, se precisan de algunos componentes eléctricos, los cuales se detallan en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1 Elementos del panel de control.

| ELEMENTO | UTILIZACIÓN |
|------------------------|--|
| 1 Luz piloto (verde) | Máquina energizada |
| 1 Luz piloto (rojo) | Máquina desenergizada |
| 1 Luz piloto (verde) | Control automático |
| 1 Luz piloto (rojo) | Control manual |
| 1 Luz piloto (verde) | Servo motor activado |
| 1 Luz piloto (rojo) | Servo motor desactivado |
| 1 Luz piloto (verde) | Cuchilla longitudinal activado |
| 1 Luz piloto (rojo) | Cuchilla longitudinal desactivado |
| 1 Luz piloto (verde) | Pisador activado |
| 1 Luz piloto (rojo) | Pisador desactivado |
| 1 Luz piloto (verde) | Rodillo presor arriba |
| 1 Luz piloto (rojo) | Rodillo presor abajo |
| 1 Luz piloto (naranja) | Paro de emergencia activado |
| 1 Luz piloto (naranja) | Sin conexión |
| 1 Pulsador (verde) | Encendido del servo motor |
| 1 Pulsador (rojo) | Sin conexión |
| 1 Pulsador (verde) | Activación cuchilla transversal a la derecha |
| 1 Pulsador (rojo) | Activación cuchilla transversal a la izquierda |
| 1 Pulsador (verde) | Levantar pisador |
| 1 Pulsador (rojo) | Bajar pisador |
| 1 Pulsador (verde) | Levantar rodillo presor |
| 1 Pulsador (rojo) | Bajar rodillo presor |
| 1 Pulsador (verde) | Sin conexión |
| 1 Pulsador (rojo) | Sin conexión |
| 1 Pulsador (naranja) | Resetear alarma servo drive |
| 1 Pulsador tipo hongo | Paro de emergencia |
| 1 Selector | Selección de modo de operación |
| 1 Selector con llave | Energizar la máquina |

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

3.2. DISEÑO DEL SISTEMA DE POTENCIA DE LA MÁQUINA.

3.2.1. Diseño del circuito de fuerza.

El objetivo principal de esta sección, es diseñar el circuito eléctrico de fuerza, de tal forma que se garantice el adecuado funcionamiento de la máquina. Para el accionamiento de los sistemas mecánicos (Sistema de arrastre y Sistema de corte transversal), la máquina dispone de un servo motor y un motorreductor los cuales funcionan a 220 V AC trifásico, voltaje suministrado a la empresa.

3.2.2. Diseño del tablero eléctrico.

El tablero eléctrico está formado por ciertos dispositivos, tales como: contactores, relés, electroválvulas, servo drive, variador de frecuencia, etc. En la Figura 3.2 se muestra el tablero eléctrico de la máquina y en la Tabla 3.2 se describe la función que desempeña cada uno de sus componentes.



Figura 3.2 Tablero eléctrico de la máquina.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

Tabla 3.2 Elementos del tablero eléctrico.

| ELEMENTO | UTILIZACIÓN |
|------------------------|---|
| Servo drive | Control del servo motor |
| Variador de frecuencia | Accionamiento del motorreductor |
| PLC | Automatización de la máquina |
| Contactores | Circuito de fuerza |
| Breakers | Protección del circuito de fuerza |
| Relés | Separación eléctrica (control - Fuerza) |
| Electroválvulas | Accionamiento de los cilindros neumáticos |
| Cables eléctricos | Conexión de circuitos |
| Elementos varios | Estética del tablero de control |

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

3.3. SELECCIÓN DE COMPONENTES DEL SISTEMA DE CONTROL DE LA MÁQUINA.

La elección de la marca de los elementos eléctricos se debe principalmente a que la empresa patrocinadora del proyecto posee un convenio con la casa distribuidora de dichos componentes.

También se considera que todos elementos seleccionados cumplan los requerimientos necesarios para la automatización de la máquina y sean de fácil adquisición en el mercado nacional.

3.3.1. Selección de luces indicadoras.

Para que el operador pueda visualizar los eventos de la máquina, se utilizan luces pilotos de la marca CAMSCO como las mostradas en la Figura 3.3, en la Tabla 3.3 se muestran sus características y su selección en el Anexo L1.

Tabla 3.3 Características de luces pilotos.

| LUCES PILOTO | CARACTERÍSTICAS |
|---------------------|------------------------|
| Marca | CAMSCO |
| Tipo | AD1622-220V/G/R/Y |
| Voltaje | 220 V AC |
| Color | Rojo-Verde-Naranja |

Fuente: Catálogo de componentes eléctricos CAMSCO.



Figura 3.3 Luz piloto CAMSCO.

Fuente: Catálogo de componentes eléctricos CAMSCO.

3.3.2. Selección de pulsadores.

Para el control manual de la máquina se utilizan pulsadores de la marca CAMSCO como se aprecia en la Figura 3.4, sus características se pueden observar en la Tabla 3.4 y su selección en el Anexo L1.

Tabla 3.4 Características de pulsadores.

| PULSADORES | CARACTERÍSTICAS |
|-------------------|------------------------|
| Fabricante | CAMSCO |
| Modelo | FPB-EA1/G, FPB-A2/R |
| Tipo | Rasante simple |
| Colores | Rojo, verde y naranja |
| Contactos | 1 NA / 1 NC |
| Díámetro | 22 mm |

Fuente: Catálogo de componentes eléctricos CAMSCO.



Figura 3.4 Pulsador CAMSCO.

Fuente: Catálogo de componentes eléctricos CAMSCO.

3.3.3. Selección del selector.

Para la selección de la modalidad de operación, ya sea manual o automática, se elige el selector de tres posiciones mostrado en la Figura 3.5, en la Tabla 3.5 se detallan las características técnicas de dicho componente.

Tabla 3.5 Características del selector.

| SELECTOR | CARACTERÍSTICAS |
|-----------------------|-----------------|
| Fabricante | CAMSCO |
| Modelo | SKOS-ED33 |
| Numero de posiciones | 3 |
| Tipo | Maneta corta |
| Contactos | 2 NA |
| Diámetro | 22 mm |
| Marcador de resaltado | 2 colores |

Fuente: Catálogo de componentes eléctricos CAMSCO.



Figura 3.5 Selector de tres posiciones CAMSCO.

Fuente: Catálogo de componentes eléctricos CAMSCO.

3.3.4. Selección del selector de llave.

Para evitar que se energice la máquina de forma innecesaria o accidental se utiliza un selector de dos posiciones de las características mostradas en la Tabla 3.6, su apariencia se muestra en la Figura 3.6 y su selección se puede visualizar en el Anexo L1.

Tabla 3.6 Características del selector de llave.

| SELECTOR DE LLAVE | CARACTERÍSTICAS |
|--------------------------|-------------------------------|
| Fabricante | CAMSCO |
| Modelo | SKL-EG41 |
| Tipo | Selector 3 posiciones C/Llave |
| Contactos | 2 NA |
| Color | Negro |
| Diámetro | 22 mm |

Fuente: Catálogo de componentes eléctricos CAMSCO.



Figura 3.6 Selector de llave CAMSCO.

Fuente: Catálogo de componentes eléctricos CAMSCO.

3.3.5. Selección del pulsador de paro de emergencia.

Para el apagado inmediato de la máquina en caso de efectuarse alguna anomalía se selecciona un pulsador tipo hongo como el mostrado en la Figura 3.7, sus características se presentan en la Tabla 3.7.

Tabla 3.7 Características del pulsador tipo hongo.

| PULSADOR TIPO HONGO | CARACTERÍSTICAS |
|----------------------------|------------------------|
| Fabricante | CAMSCO |
| Modelo | MPB-BC2 |
| Tipo | Hongo giro 40 mm S/RET |
| Contactos | 1 NC / 1 NA |
| Color | Rojo |
| Diámetro | 22 mm |

Fuente: Catálogo de componentes eléctricos CAMSCO.



Figura 3.7 Pulsador tipo hongo CAMSCO.

Fuente: Catálogo de componentes eléctricos CAMSCO.

3.3.6. Selección del panel operador.

El control en modo automático de la máquina se realiza mediante el panel de operación monocromático OP-320 de la marca XINJE mostrado en la Figura 3.8. La selección del OP se presenta en el Anexo L7 y sus características se pueden visualizar en la Tabla 3.8.

Tabla 3.8 Características del panel operador.

| PANEL OPERADOR | CARACTERÍSTICAS |
|--------------------------|--------------------|
| Fabricante | XINJE |
| Modelo | OP-320 |
| Voltaje de alimentación | 24 V DC |
| Potencia | < 4 W |
| Comunicación | RS - 232 |
| Temperatura de operación | 0-50 °C |
| Humedad | 20~85 % |
| Color de pantalla | Monocromática Azul |

Fuente: Catálogo de paneles de operación XINJE.



Figura 3.8 Panel operador OP-320 XINJE.

Fuente: Catálogo de paneles de operación XINJE.

3.3.7. Selección de sensor.

El sensor inductivo tipo PNP que se aprecia en la Figura 3.9 es utilizado en la máquina como final de carrera para la activación variador de frecuencia. La selección de este componente se justifica al ser el más adecuado para esta clase de aplicaciones, además las entradas del PLC se activan a 0 V DC. Las características de este sensor se pueden visualizar en la Tabla 3.9.

Tabla 3.9 Características del sensor inductivo.

| SENSOR INDUCTIVO | CARACTERÍSTICAS |
|-------------------------|------------------------|
| Marca | HANYOUNG NUX |
| Tipo | LM18-3005NA |
| Voltaje de trabajo | 10 – 24 V DC |
| Distancia sensible | 0 – 5 mm |
| Consumo de corriente | Max 10 mA. |
| Indicador de operación | Led rojo |
| Salida | NO |
| Humedad ambiente | 35 ~ 85 % R.H. |
| Grado de protección IP | 67 |

Fuente: Catálogo de sensores HANYOUNG NUX.



Figura 3.9 Sensor inductivo.

Fuente: Catálogo de sensores HANYOUNG NUX.

3.4. SELECCIÓN DE COMPONENTES DEL TABLERO ELÉCTRICO DE LA MÁQUINA.

3.4.1. Selección del PLC.

De acuerdo con el Anexo L5, se selecciona un PLC marca XINJE, modelo XC3-32RT-E, el cual se puede apreciar en la Figura 3.10. El motivo principal por el cual se utiliza este dispositivo, es el cumplimiento de todos los requerimientos para la automatización de la máquina, además al ser de la misma marca del servo motor, servo drive y del panel operador, permite una fácil y rápida comunicación entre todos estos elementos. La Tabla 3.10 presenta las características técnicas del PLC seleccionado.

Tabla 3.10 Características del PLC XC3-32RT-E.

| PLC | CARACTERÍSTICAS |
|--------------------------------|------------------------------|
| Marca | XINJE |
| Voltaje de trabajo | 100 - 240 V |
| Frecuencia | 50 / 60 Hz |
| Temperatura ambiente | 0 – 60 °C |
| Consumo de potencia | 12 W |
| Fuente de voltaje interno | 24 V DC \pm 10% max 400 mA |
| Número de entradas | 18 |
| Número de salidas a transistor | 2 (Y0, Y1) |
| Número de salidas a relé | 12 (Y2 - Y15) |
| Software de programación | Gratuito |
| Lenguaje de programación | Ladder |

Fuente: Catálogo de PLCs XINJE.



Figura 3.10 PLC XC3-32RT-E XINJE.

Fuente: Catálogo de PLCs XINJE.

3.4.2. Selección del variador de frecuencia.

La elección del variador de frecuencia se realiza principalmente a partir de los siguientes parámetros:

- La potencia del motor a comandar: 0,09 KW
- La corriente nominal del motor a comandar: 0,33 A.
- El voltaje de alimentación del motor a comandar: 220 V AC 3Ø.

Del Anexo L9 se selecciona un variador de frecuencia XINJE modelo VB3-20P4, el cual se muestra en la Figura 3.11.



Figura 3.11 Variador de frecuencia VB3-20P4.

Fuente: Catálogo de variadores de frecuencia XINJE.

3.4.3. Relés.

Los relés son utilizados para separar eléctricamente la parte de control de la parte de fuerza de la máquina, las bobinas de los relés están directamente conectadas a las salidas del PLC. De acuerdo al diseño realizado, es necesario utilizar relés con bobinas a 24 V DC y 220 V AC.

A partir del Anexo L4, se seleccionan relés de la marca CAMSCO como los mostrados en la Figura 3.12. También en las Tablas 3.11 y 3.12 se presentan las características técnicas de dichos elementos.

Tabla 3.11 Características del relé de AC.

| RELÉ | CARACTERÍSTICAS |
|------------------------|-----------------|
| Marca | CAMSCO |
| Serie | MK2P-1-220VAC |
| Voltaje de bobina | 220 V AC |
| Numero de contactos | 2 NA / 2 NC |
| Corriente de contactos | 5 A |
| # de huecos en la base | 8 redondos |

Fuente: Catálogo de componentes eléctricos CAMSCO.

Tabla 3.12 Características del relé de DC.

| RELÉ | CARACTERÍSTICAS |
|------------------------|-----------------|
| Marca | CAMSCO |
| Serie | MK2P-1-24VDC |
| Voltaje de bobina | 24 V DC |
| Numero de contactos | 2 NA / 2 NC |
| Corriente de contactos | 5 A |
| # de huecos en la base | 8 redondos |

Fuente: Catálogo de componente eléctricos CAMSCO.

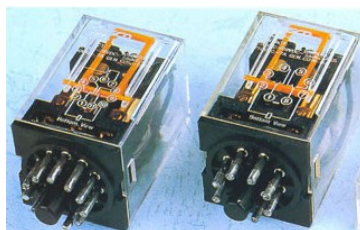


Figura 3.12 Relé CAMSCO.

Fuente: Catálogo de componentes eléctricos CAMSCO.

3.4.4. Selección del contactor.

El contactor para energizar el circuito derivado del servo motor se selecciona a partir de la corriente nominal del servo motor ($I_{n_{sm}} = 4 A$), si se multiplica esta corriente por un factor del 1,25 recomendado se tiene una corriente de 5 A, entonces se selecciona un contactor de la marca LS de 9 A como el mostrado en la Figura 3.13, las características del mismo se pueden visualizar en la Tabla 3.13 y su selección en el Anexo L2.

Tabla 3.13 Características del contactor.

| CONTACTOR | CARACTERÍSTICAS |
|-----------------------|-----------------------|
| Fabricante | LS Industrial Systems |
| Tipo | GMC-9 |
| Número de polos | 3 |
| Voltaje de bobina | 220 V |
| Voltaje de trabajo | 220 V |
| Contactos auxiliares | 2 NA / 2 NC |
| Categoría de servicio | AC3 |

Fuente: Catálogo de componentes eléctricos LG.



Figura 3.13 Contactor GMC-9.

Fuente: Catálogo de componentes eléctricos LG.

3.4.5. Selección protecciones. [25]

a. Selección de la protección al circuito derivado del servo motor.

La corriente nominal del servo motor es $In_{sm}=4$ A, si se multiplica esta corriente por un factor del 2,0 recomendado, se tiene una corriente de 8 A, por lo tanto; a partir del Anexo L3; se selecciona un breaker C60N 3P 10A cuyas características se muestran en la en la Tabla 3.14.

Tabla 3.14 Características de la protección del servo motor.

| BREAKER | CARACTERÍSTICAS |
|----------------------|-----------------|
| Marca | CAMSCO |
| Serie | C60N 3P 10A |
| Corriente nominal | 10 A |
| Número de polos | 3 |
| Capacidad de ruptura | 6 KA |
| Voltaje | 220 V |

Fuente: Catálogo de componentes eléctricos CAMSCO.

b. Selección de la protección al circuito derivado del motorreductor.

La corriente nominal del motorreductor es $In_{mr}=0,33$ A, al multiplicar esta corriente por un factor de 2,0 recomendado, se tiene una corriente de 0,66 A, entonces; a partir del Anexo L3; se selecciona un breaker C60N 3P 1A cuyas características se muestran en la en la Tabla 3.15.

Tabla 3.15 Características de la protección del motorreductor.

| BREAKER | CARACTERÍSTICAS |
|----------------------|-----------------|
| Marca | CAMSCO |
| Serie | C60N 3P 1A |
| Corriente nominal | 1 A |
| Número de polos | 3 |
| Capacidad de ruptura | 6 KA |
| Voltaje | 220 V |

Fuente: Catálogo de componentes eléctricos CAMSCO.

c. Selección de la protección del alimentador.

Para calcular la protección del alimentador, se toma el 250 % de la corriente del motor mayor y se suman las corrientes de otros motores y otras cargas, entonces:

$$I_{prot_{Alim.}} = 2,5 \cdot I_{n_{Motor\ mayor}} + \sum I_{n_{Otras\ cargas}} \quad EC.3.1$$

$$I_{prot_{Alim.}} = 2,5 \cdot I_{n_{sm}} + I_{n_{mr}} + I_{oc}$$

Se estima un consumo de corriente (I_{oc}) por parte de otras cargas como luces indicadoras, bobinas de relés, electroválvulas, PLC, etc., de 5 A.

$$I_{prot_{Alim.}} = (2,5 \cdot 4) + 0,33 + 5 = 15,33 \text{ A.}$$

Del Anexo L3 se puede seleccionar un breaker C60N 3P 16A cuyas características se pueden visualizar en la Tabla 3.16.

Tabla 3.16 Características de la protección del alimentador.

| BREAKER | CARACTERÍSTICAS |
|----------------------|-----------------|
| Marca | CAMSCO |
| Serie | C60N 3P 16A |
| Corriente nominal | 16 A |
| Número de polos | 3 |
| Capacidad de ruptura | 6 KA |
| Voltaje | 220 V |

Fuente: Catálogo de componentes eléctricos CAMSCO.

3.4.6. Selección de conductores eléctricos. [25]

a. Conductores eléctricos para circuitos derivados.

- La corriente nominal del servo motor es $I_{n_{sm}}=4$ A, si se multiplica esta corriente por un factor del 1,25 recomendado, se tiene una corriente $I_{c_{sm}}=5$ A.
- La corriente nominal del motorreductor es $I_{n_{mr}}=0,33$ A, si se multiplica esta corriente por un factor del 1,25 recomendado, se tiene una corriente $I_{c_{mr}}=0,42$ A.

Como se puede notar el valor de la corriente de sobrecarga mas elevado es 5 A, por lo tanto a partir del Anexo L7, se selecciona un conductor # 4x14 AWG para los circuitos derivados tanto al servo motor como al motorreductor.

b. Conductores eléctricos para el alimentador.

Para calcular la corriente en función de la cual se selecciona el calibre de conductor del alimentador, se toma el 125 % de la corriente nominal del motor mayor y se suman las corrientes de otros motores y otras cargas, entonces:

$$I_{C_{Alim.}} = 1,25 \cdot I_{n_{Motor\ mayor}} + \sum I_{n_{Otras\ cargas}} \quad EC.3.2$$

$$I_{C_{Alim.}} = 1,25 \cdot I_{n_{sm}} + I_{n_{mr}} + I_{oc}$$

Se estima un consumo de corriente (I_{oc}) por parte de otras cargas como luces indicadoras, bobinas de relés, electroválvulas, PLC, etc., de 5 A.

$$I_{C_{Alim.}} = (1,25 \cdot 4) + 0,33 + 5 = 10,33 \text{ A.}$$

Del Anexo L7 se puede seleccionar un conductor # 4x14 AWG para el alimentador.

c. Conductores eléctricos para el circuito de control.

Dado que el circuito de control se limita solo a la conexión de bobinas de contactores y válvulas, elementos eléctricos como pulsadores, luces indicadoras, relés y conexiones al PLC, entonces el consumo de corriente y caída de tensión no serán de mayor consideración, por lo tanto, se selecciona según el Anexo L7 un conductor #16 AWG.

CAPÍTULO IV

CONSTRUCCIÓN DE LA MÁQUINA.

4.1. PLANOS CONSTRUCTIVOS.

Los planos mecánicos de la máquina cortadora de láminas PVC se realizan a partir del modelo 3D creado SolidWorks, de esta manera se obtienen dichos planos en forma fácil, rápida y precisa. Todos los planos constructivos de la máquina se especifican en el Anexo H.

4.2. CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DE LOS COMPONENTES MECÁNICOS.

Una vez que se ha terminado con la etapa de diseño de todos los sistemas que conformarán la máquina, como son el sistema mecánico, eléctrico y neumático, se procede con la construcción y montaje de los mismos.

Para la construcción de la máquina es necesario contar con un taller dotado de las maquinarias necesarias como: fresadora, limadora, soldadora, torno, sierra eléctrica y rectificadora. También se requieren dispositivos de medida como son: calibrador, micrómetro, etc., los cuales permiten determinar si las dimensiones de los componentes se encuentran dentro de las tolerancias establecidas en los planos de construcción.

El presente capítulo describe las actividades realizadas para la construcción de la máquina. Todos los elementos son elaborados muy cuidadosamente respetando los ajustes, tolerancias, procedimientos de soldadura, etc., descritas en el diseño. Como se mencionó en el capítulo II, el sistema mecánico esta dividido en los siguientes subsistemas:

- Estructura soporte.
- Sistema de sujeción y desbobinado.
- Sistema de frenado de la bobina.
- Sistema de guiado (rodillos guía).
- Sistema de corte longitudinal.

- Sistema de arrastre.
- Sistema de corte transversal.

4.2.1. Construcción de la estructura soporte.

Considerando que en la estructura soporte se montarán todos los subsistemas de la máquina, se utilizan canales U de 80 x 40 x 2 para su construcción, los cuales cumplen con los requerimientos citados en el capítulo de diseño.

Los canales U se fabrican en acero ASTM A 500, dicho material posee las características necesarias para la fabricación de la estructura soporte como son: fácil mecanizabilidad, soldabilidad, etc. Otra ventaja que ofrece el perfil a utilizar es que se lo puede encontrar en el mercado local a un costo accesible. En la Figura 4.1 se puede apreciar la construcción de la estructura soporte.



Figura 4.1 Construcción de la estructura soporte.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

El proceso de soldadura empleado para la construcción de este componente corresponde al proceso SMAW, los factores que se tomaron en cuenta para la selección de este proceso son:

- Costo de soldadura.
- Disponibilidad del equipo de soldadura.
- Habilidad de soldadura.
- Tamaño y forma de la pieza a ser soldada.

- **Selección de electrodo.**

Se selecciona el electrodo de soldadura E-6011, puesto que entre sus aplicaciones más comunes están:

- Soldadura de estructuras metálicas,
- Tanques
- Embarcaciones,
- Obras de construcción.
- Reparación de piezas y maquinarias.

El electrodo E6011 posee un revestimiento de tipo celulósico diseñado para ser utilizado con AC y DC. A continuación se muestran las características más relevantes de este electrodo:

- Alta velocidad de soldadura.
- Eficiencia de deposición del metal superior al 70%.
- Gran facilidad de encendido y manejo del arco.
- Excelente penetración.
- Fácil remoción de escoria.

- **Procedimiento de soldadura.**

Para la construcción de la máquina, todas las soldaduras son realizadas utilizando el formato WPS, donde se especifican las tareas a cumplir dentro de este procedimiento. En la Figura 4.2 se muestra el formato WPS utilizado en la construcción de la estructura soporte.

Para obtener buenos resultados se recomienda un arco de longitud mediana que permita controlar mejor la forma y aspecto del cordón.

En la soldadura de filetes planos y horizontales se recomienda mantener el electrodo a 45° con cada plancha, oscilando en el sentido de avance. En la soldadura vertical llevar el electrodo a un ángulo de casi 90°, inclinándole ligeramente en el sentido de avance.

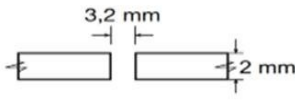
| WPS | | ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS) | | | Pág. 1 de 1 | | | |
|---|---------------------|--|--|--|--------------------------|--|---|------------------------------------|
| Nombre de la compañía TESIS WPS N° MBA 001 Proceso de soldadura SMAW - MANUAL Según norma AWS D1.1 | | | | Diseño de la junta  | | | | |
| Junta Utilizada | Tipo de junta | A TOPE | | | Posición | Tope 1G | | |
| | Tipo de soldadura | Bisel | | | | Califica vertical. | | |
| | Cordón de respaldo | si <input type="checkbox"/> | no <input checked="" type="checkbox"/> | | | | | |
| | Preparar junta | si <input checked="" type="checkbox"/> | no <input type="checkbox"/> | | | | | |
| | Método | Esmeril | | | | | | |
| Metal Base | Angulo de ranura | - | | | Característica eléctrica | Corriente: | | |
| | Cara de la raíz | - | | | | CA <input checked="" type="checkbox"/> | DC* <input type="checkbox"/> | |
| | Abertura de la raíz | 3,2 mm | | | | DC* <input type="checkbox"/> | | |
| | Limpieza | Limpiar las superficies antes de soldar | | | | | | |
| Electrodo | Especificación | Acero | | | Técnica de soldadura | Técnica | un pase <input checked="" type="checkbox"/> | |
| | Califica | Acero | | | | varios pases <input type="checkbox"/> | | |
| | Espesor | 2 mm | | | | Oscilación | si <input checked="" type="checkbox"/> | no <input type="checkbox"/> |
| | Califica | < 3,2 mm | | | | Limpieza entre pases | No | |
| | Diámetro | 3,2 mm | | | | Otros pases: No | | |
| | Clasificación AWS | E 6011 | | | | Soldadura | Un lado <input checked="" type="checkbox"/> | Dos lados <input type="checkbox"/> |
| Especificación | AWS A5.1 | | | Precal. | Temperatura | N/A | | |
| Casa Comercial | Indura | | | | Temperatura entre pases | N/A | | |
| Aplicación de Soldadura de Estructuras. | | | | | | | | |
| N° de pase | Metal de aporte | | | Tensión de trabajo | | | (Velocidad de avance m/min) | |
| | Denominación AWS | Denominación Comercial | Diámetro (mm) | Poi | Voltaje (v) | Amperaje (A) | | |
| 1 | E 6011 - E 7018 | - | 3,2 | AC | 19 - 21 | 120 - 140 | 0,05 - 0,1 | |
| NOTAS: - Verificar alineación de la junta. - Asegurar la limpieza de las partes. | | | | | | | | |
| REALIZADO POR: José López. Milton Santo. FECHA: 25/09/2012. | | | | APROBADO POR: Ing. Ruben Balladares. JEFE DE MANTENIMIENTO - INDUSTRIA PLÁSTICA BROTHER'S. FECHA: 27/09/2012. | | | | |

Figura 4.2 Formato WPS - estructura soporte.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

La Figura 4.3 muestra la estructura soporte terminada.



Figura 4.3 Estructura soporte terminada.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

- **Pintura.**

Para proteger la superficie metálica de la estructura soporte contra la corrosión, se aplica una capa de pintura de color plomo como se muestra en la Figura 4.4.



Figura 4.4 Pintura - estructura soporte.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

4.2.2. Construcción y montaje del sistema de sujeción y desbobinado.

a. Construcción del mecanismo A.

El mecanismo A consiste de un eje, el cual va montado sobre un par de rodamientos. En la parte posterior del eje se encuentra un tambor giratorio sobre el cual se ejerce una determinada fuerza desde el sistema de frenado. En el extremo frontal del eje de este mecanismo se tiene un cono el cual servirá de apoyo al núcleo del rollo de PVC. En la Figura 4.5 se muestra la construcción del cono del mecanismo A en montaje con el eje.



Figura 4.5 Montaje del cono y el eje del mecanismo A.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

La Figura 4.6 muestra el ensamble de base con el apoyo del mecanismo A.



Figura 4.6 Ensamblaje de la base y el apoyo del mecanismo A.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

La Figura 4.7 muestra el montaje del mecanismo A en la estructura soporte de la máquina.



Figura 4.7 Montaje del mecanismo A sobre la estructura soporte.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

b. Construcción del mecanismo B.

Ya que la bobina de plástico será cambiada constantemente una vez que ésta se haya terminado, el mecanismo B permite realizar esta actividad al operador sin que le tome demasiado tiempo. En la Figura 4.8 se muestra la construcción del cono utilizado en este mecanismo.



Figura 4.8 Construcción del cono del mecanismo B.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

El cono de sujeción a su vez se instalará por medio de un rodamiento a uno de los extremos de un tornillo; en la Figura 4.9 se puede visualizar el mecanizado del tornillo.



Figura 4.9 Mecanizado del tornillo.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

La Figura 4.10 muestra el montaje del mecanismo B, el cual debe ir perfectamente alineado con el mecanismo A para evitar el cabeceo de la bobina de plástico.

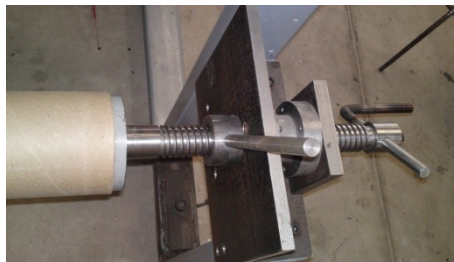


Figura 4.10 Montaje del mecanismo B en la estructura soporte.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

4.2.3. Construcción y montaje del sistema de frenado.

Para tener control en el giro de la bobina así como en la tensión de la lámina PVC se construye el sistema de frenado, el cual va acoplado al mecanismo A del sistema de sujeción y desbobinado como se muestra en la Figura 4.11.



Figura 4.11 Montaje del sistema de frenado.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

4.2.4. Construcción de los rodillos guía.

Debido a que el film PVC una vez cortado se utilizará en la fabricación de estuches de juegos geométricos y forros para cuadernos, éste no deberá tener algún tipo de marcas o raspones que alteren la calidad del producto final, por este motivo, para la fabricación de los rodillos guía se utilizan tubos de acero con superficie exterior muy lisa como se muestra en la Figura 4.12.



Figura 4.12 Tubos de rodillos guía.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

La Figura 4.13 presenta la fabricación de las tapas y los ejes laterales los cuales se unirán a los tubos por medio de un proceso de soldadura. Dichos componentes son elaborados en acero AISI 1018.



Figura 4.13 Tapas y ejes laterales de los rodillos guía.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

Para evitar que los rodillos se desalineen al momento de la soldadura, ésta actividad se realiza con la ayuda de un torno. La Figura 4.14 muestra el aspecto de los rodillos guía después del maquinado y ensamble de todas sus piezas.



Figura 4.14 Rodillos guía terminados.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

Al igual que la estructura soporte de la máquina, los rodillos guía se pintan de color plomo como se aprecia en la Figura 4.15. Posteriormente se pulen para evitar daños en la lámina PVC.



Figura 4.15 Pintura de rodillos guías.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

4.2.5. Construcción y montaje del sistema de corte longitudinal.

Para el corte longitudinal se utilizan cuchillas planas industriales, las cuales se sujetan en los portacuchillas fabricados en acero ASTM A 36.

Los portacuchillas se construyen en dos partes. La primera parte comprende de un eje acero perforado para la sujeción del portacuchillas al eje portacuchillas de acero AISI 1018 como se puede apreciar en la Figura 4.16.



Figura 4.16 Construcción de la primera parte del portacuchillas.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

En la Figura 4.17 se muestra la construcción de la base que constituye la segunda parte del portacuchillas es decir donde se alojaran las cuchillas planas industriales.



Figura 4.17 Construcción de las bases de los portacuchillas.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

El montaje de los portacuchillas sobre el eje portacuchillas se puede observar en la Figura 4.18.



Figura 4.18 Montaje de los portacuchillas.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

4.2.6. Construcción del sistema de arrastre.

a. Construcción de los rodillos de arrastre.

El material seleccionado para los ejes de ambos rodillos corresponde a un acero AISI 1018. Este acero de bajo carbono tiene buena soldabilidad y ligeramente mejor maquinabilidad que los aceros con grados menores de carbono. Se presenta en condición de calibrado (acabado en frío). Debido a su alta tenacidad y baja resistencia mecánica es adecuado para componentes de maquinaria.

El AISI 1018 es utilizado con cargas mecánicas no muy severas, pero con ciertos grados de tenacidad importantes, como por ejemplo: pernos tuercas, piezas de maquinaria, ejes, bujes, pasadores, etc. Factible de cementación, excelente soldabilidad.

Como se mencionó en el capítulo II, los rodillos de arrastre son fabricados de un eje recubierto con caucho natural NR. La utilización del caucho natural se debe principalmente a su buena adherencia con el plástico PVC, de esta manera se puede evitar que el film se deslice en el momento del arrastre, evitando medidas de corte incorrectas.

Para evitar daños en la lámina PVC, se rectifica el recubrimiento de caucho natural de ambos rodillos. En la Figura 4.19 se puede apreciar los rodillos del sistema de arrastre una vez que han sido contruidos y montados en la estructura soporte de la máquina.

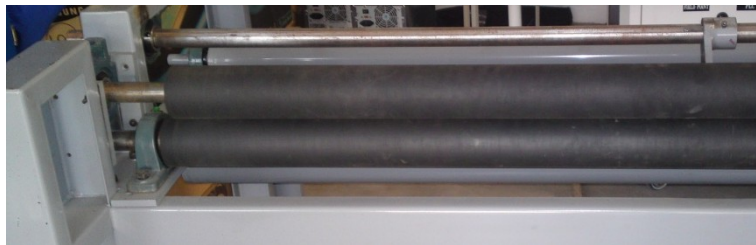


Figura 4.19 Montaje de los rodillos del sistema de arrastre.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

b. Construcción de las placas base.

El rodillo tractor va montado en soportes de piso con rodamiento Y, a su vez estos soportes se sujetan sobre unas placas base.

Las placas base soportan el peso de ambos rodillos del sistema de arrastre y son construidas en acero ASTM A 36, en la Figura 4.20 se observa la instalación de las placas base.



Figura 4.20 Montaje de placas base.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

c. Construcción de las guías T.

Estas guías permitirán que el rodillo presor se desplace verticalmente, y a la vez permita ingresar el plástico entre el rodillo de arrastre y el rodillo presor. Las guías mostradas en la Figura 4.21, son fabricadas en acero AISI 1045.



Figura 4.21 Construcción de las guías T.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

En la Figura 4.22 se muestra la instalación de las guías T.



Figura 4.22 Montaje de las guías T.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

d. Construcción de la base del servo motor.

La potencia requerida por los rodillos del sistema de arrastre es suministrada desde un servo motor el cual se acopla a la estructura soporte de la máquina por medio de una base construida en acero ASTM A 36.

La base posee 4 taladros para facilitar el posicionamiento del servo motor de tal forma que se pueda lograr un templado adecuado de la correa y evitar problemas de alineamiento entre las poleas. En la Figura 4.23 se puede apreciar la fabricación de la base del servo motor.



Figura 4.23 Construcción de la base del servo motor.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

4.2.7. Construcción y montaje del sistema de corte transversal.

a. Construcción y montaje de la mesa de fijación.

La mesa de fijación es fabricada en acero ASTM A 36 de acuerdo con las medidas y tolerancias establecidas en los planos mecánicos. Con la ayuda de maquinas herramientas como limadora y fresadora se construyen cada uno de los componentes de la mesa de fijación la cual se puede apreciar en la Figura 4.24



Figura 4.24 Construcción de mesa de fijación.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

Esta mesa tiene una inclinación de 15° lo cual facilitará el deslizamiento del plástico PVC al momento del arrastre. El montaje de la mesa de fijación en la estructura soporte se muestra en la Figura 4.25

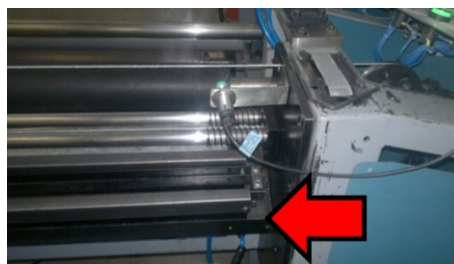


Figura 4.25 Montaje de la mesa fijación.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

b. Construcción y montaje del pisador.

Como se mencionó en el capítulo II, el pisador sujeta la lámina de PVC contra la mesa de fijación para facilitar la penetración de la cuchilla del sistema de corte transversal.

El pisador esta fabricado en su totalidad en acero ASTM A 36 según lo especificado en el diseño mecánico. La Figura 4.26 muestra el ensamble del pisador.



Figura 4.26 Construcción del pisador.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

El pisador se acopla a la mesa de fijación por medio de dos actuadores neumáticos, los mismos que ayudarán a elevarse al momento del arrastre y a bajar en el momento del corte. En la Figura 4.27 se puede apreciar el montaje del pisador a la mesa de fijación.



Figura 4.27 Acoplamiento entre la mesa de fijación y el pisador.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

c. Construcción y montaje del portacuchilla.

De la cuchilla depende la calidad de corte de la lámina de plástico. El material utilizado para la construcción de la cuchilla es el acero AISI D2, entre las características más relevantes de este material tenemos:

- Alta resistencia al desgaste.
- Buena resistencia de temple, en el núcleo y en la superficie.
- Excelente estabilidad en el temple.
- Buena resistencia al revenido.

Para garantizar la durabilidad de la cuchilla, se la somete a un tratamiento térmico de templado, posteriormente se la rectifica hasta conseguir un excelente filo de corte. En la Figuras 4.28 se puede apreciar la construcción de las diferentes piezas que conforman el portacuchilla.

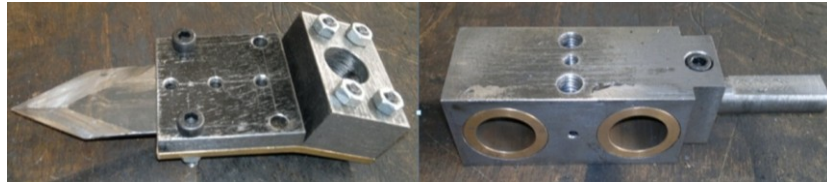


Figura 4.28 Construcción del portacuchilla.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

Los casquillos del portacuchilla fueron fabricados en bronce SAE 64 el cual tiene buenas cualidades elásticas y de resistencia al desgaste. Este tipo de bronce es utilizado en cargas ligeras y velocidades de baja a media, con sistemas de lubricación personal.

En la Figura 4.29 se puede visualizar el montaje del portacuchilla sobre la guía lineal.

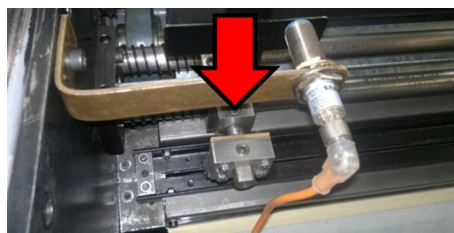


Figura 4.29 Montaje del portacuchilla.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

d. Construcción y montaje de la guía lineal.

En la Figura 4.30 se muestra el montaje de la guía lineal, la cual está construida principalmente de dos ejes de acero AISI 1018, estos ejes

direccionan el movimiento del portacuchilla, evitando que la cuchilla choque contra la mesa de fijación o el pisador.



Figura 4.30 Montaje de la guía lineal.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

4.2.8. Construcción y montaje de la transmisión de potencia al sistema de corte transversal.

Para la ejecución del corte transversal es necesario transformar el movimiento circular proporcionado por el motorreductor a un movimiento lineal del portacuchilla. La transformación del movimiento se realiza mediante el actuador de cable diseñado en el capítulo II, el cual se compone principalmente de un mecanismo denominado ensamble motorreductor desde el cual; por medio de una polea; se provee la potencia requerida para el movimiento del portacuchilla y ejecución del corte. En la Figura 4.31 se muestra la el montaje del ensamble motorreductor.



Figura 4.31 Montaje del ensamble motorreductor.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

En la Figura 4.32, se puede apreciar el montaje del mecanismo tensor, mediante el cual se le da la tensión adecuada al cable con la finalidad de evitar su deslizamiento entre el arreglo de poleas.



Figura 4.32 Montaje del mecanismo tensor.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

4.2.9. Recubrimiento y pintura.

La máquina se recubre con tol de 1/16 pulg de espesor, además se aplica una capa de pintura a cada uno de sus componentes con el objetivo de protegerlos contra la corrosión y conseguir un mejor acabado, como se observa en la Figura 4.33.



Figura 4.33 Cubierta y pintura.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

4.3. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA NEUMÁTICO.

4.3.1. Instalación de la unidad de mantenimiento.

La unidad de mantenimiento es de esencial importancia debido a la calidad de aire que requiere el sistema, de éste dependerá la vida útil de los demás elementos neumáticos.

La unidad FRL está instalada en la parte superior derecha de la máquina como se muestra en la Figura 4.34.



Figura 4.34 Montaje de la unida de mantenimiento.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

4.3.2. Instalación de electroválvulas.

Las electroválvulas 5/3 con centro cerrado utilizadas en este proyecto son las encargadas de activar o desactivar los cilindros neumáticos utilizados para la maniobra del eje portacuchillas, del rodillo presor y del pisador.

Para una fácil instalación y una mejor utilización del espacio del tablero eléctrico, las electroválvulas van acopladas a una base manifold. La Figura 4.35 muestra el montaje de las electroválvulas.



Figura 4.35 Montaje de electroválvulas.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

4.3.3. Instalación de actuadores neumáticos.

a. Disposición del cilindro neumático del eje portacuchillas.

Este cilindro neumático se acopla al eje portacuchillas de tal forma que acciona seis cuchillas longitudinales al mismo tiempo, en la Figura 4.36 se muestra el lugar de instalación de este elemento.

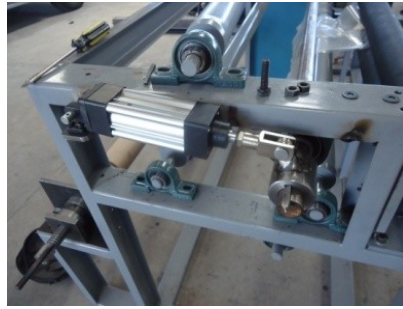


Figura 4.36 Montaje del cilindro neumático del eje portacuchillas.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

b. Disposición de cilindros neumáticos del rodillo presor.

Los cilindros neumáticos instalados para este efecto, sujetan al rodillo presor por medio de un soporte tensor con rodamiento Y el cual fue adaptado para este propósito como se muestra en la Figura 4.37. Estos actuadores se encargan de levantar al rodillo presor y facilitar la colocación del plástico.



Figura 4.37 Montaje de los cilindros neumáticos del rodillo presor.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

c. Disposición de cilindros neumáticos del pisador.

Estos actuadores accionarán al pisador con el objeto de asegurar la lámina de plástico contra la mesa de fijación antes de cada ciclo de corte transversal.

La Figura 4.38 muestra la disposición de los cilindros neumáticos del pisador.



Figura 4.38 Montaje del los cilindros neumáticos del pisador.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

4.3.4. Conexión de equipos neumáticos.

La conexión entre los diferentes elementos neumáticos se realiza mediante una manguera de poliuretano de 8 mm de diámetro y los diferentes tipos de conectores seleccionados como se puede apreciar en la Figura 4.39.



Figura 4.39 Conexión de elementos neumáticos.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

4.4. CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y DE CONTROL.

4.4.1. Construcción y montaje del tablero de mando.

Para la construcción del tablero de mando se utilizó una plancha de tol de 1/16 pulg de espesor. En la Figura 4.40 se muestra la fabricación de los agujeros para la ubicación de los diferentes elementos eléctricos utilizados en este tablero.

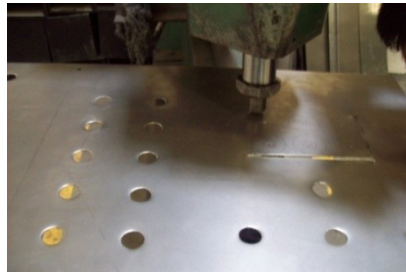


Figura 4.40 Construcción y montaje del tablero de mando.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

4.4.2. Montaje e instalación del tablero eléctrico.

La conexión del tablero eléctrico, es realizada de acuerdo al diagrama eléctrico diseñado en el capítulo III. Este tablero está ubicado en la parte lateral derecha de la máquina.

a. Montaje de las canaletas, riel DIN y borneras.

La ubicación de todos estos elementos se muestran en la Figura 4.41.



Figura 4.41 Disposición de elementos en el tablero eléctrico.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

b. Montaje de Breakers.

Los breakers están instalados en la parte superior derecha del tablero eléctrico, como se muestra en la Figura 4.42.

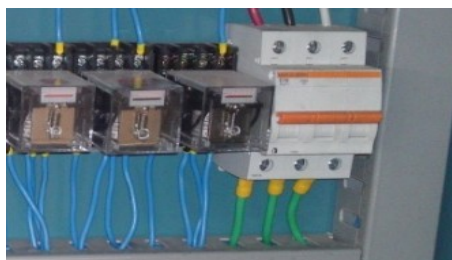


Figura 4.42 Instalación de breakers.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

c. Montaje de contactores y relés.

La disposición e instalación de los contactores y relés auxiliares se muestra en la Figura 4.43.



Figura 4.43 Instalación de relés y contactores.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

d. Montaje de sensores inductivos.

Los sensores inductivos se encargan de enviar las señales al variador de frecuencia para el traslado del portacuchilla de izquierda a derecha y viceversa en cada ciclo de corte. Los sensores inductivos se instalan en las placas laterales del sistema de corte transversal como se aprecia en la Figura 4.44.

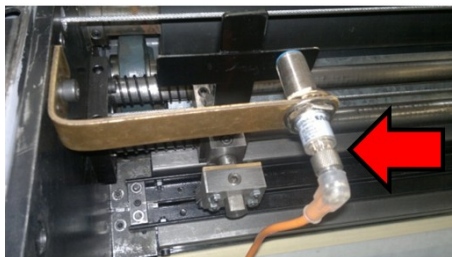


Figura 4.44 Instalación de sensores inductivos.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

e. Montaje del servo motor.

El servo motor se encuentra instalado en la parte izquierda del tablero eléctrico, como se muestra en la Figura 4.45.



Figura 4.45 Montaje del servo motor.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

f. Montaje del servo drive.

El servo drive por ser uno de los elementos más grandes que conforman el tablero eléctrico, es instalado en la parte inferior izquierda, respetando las distancias necesarias entre elementos eléctricos y mecánicos sugeridos en el manual de instalación, como se muestra en la Figura 4.46.



Figura 4.46 Montaje del servo drive.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

g. Conexiones del servo drive.

En la Figura 4.47 se muestra un diagrama esquemático de las conexiones realizadas al servo drive.

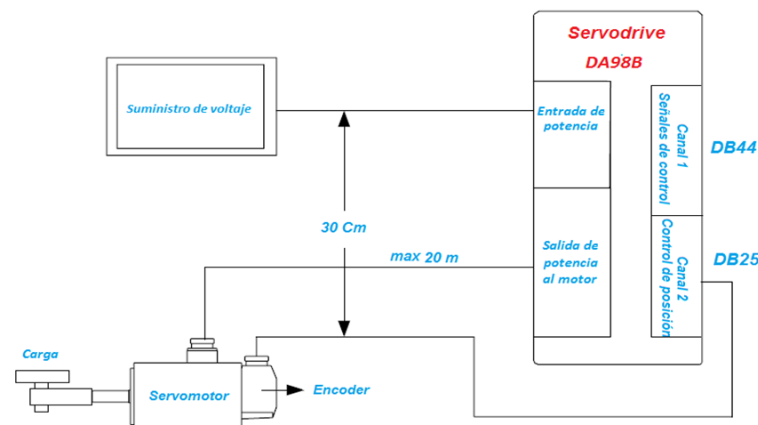


Figura 4.47 Diagrama esquemático de conexión del servo drive GSK DA98B.

Fuente: Manual de usuario GSK DA98B AC Servo Drive Unit.

Para un mejor entendimiento del funcionamiento y conexiones eléctricas del servo drive, se incluyó el diagrama de bloques de la Figura 4.48, donde se muestra más detalladamente su configuración interna.

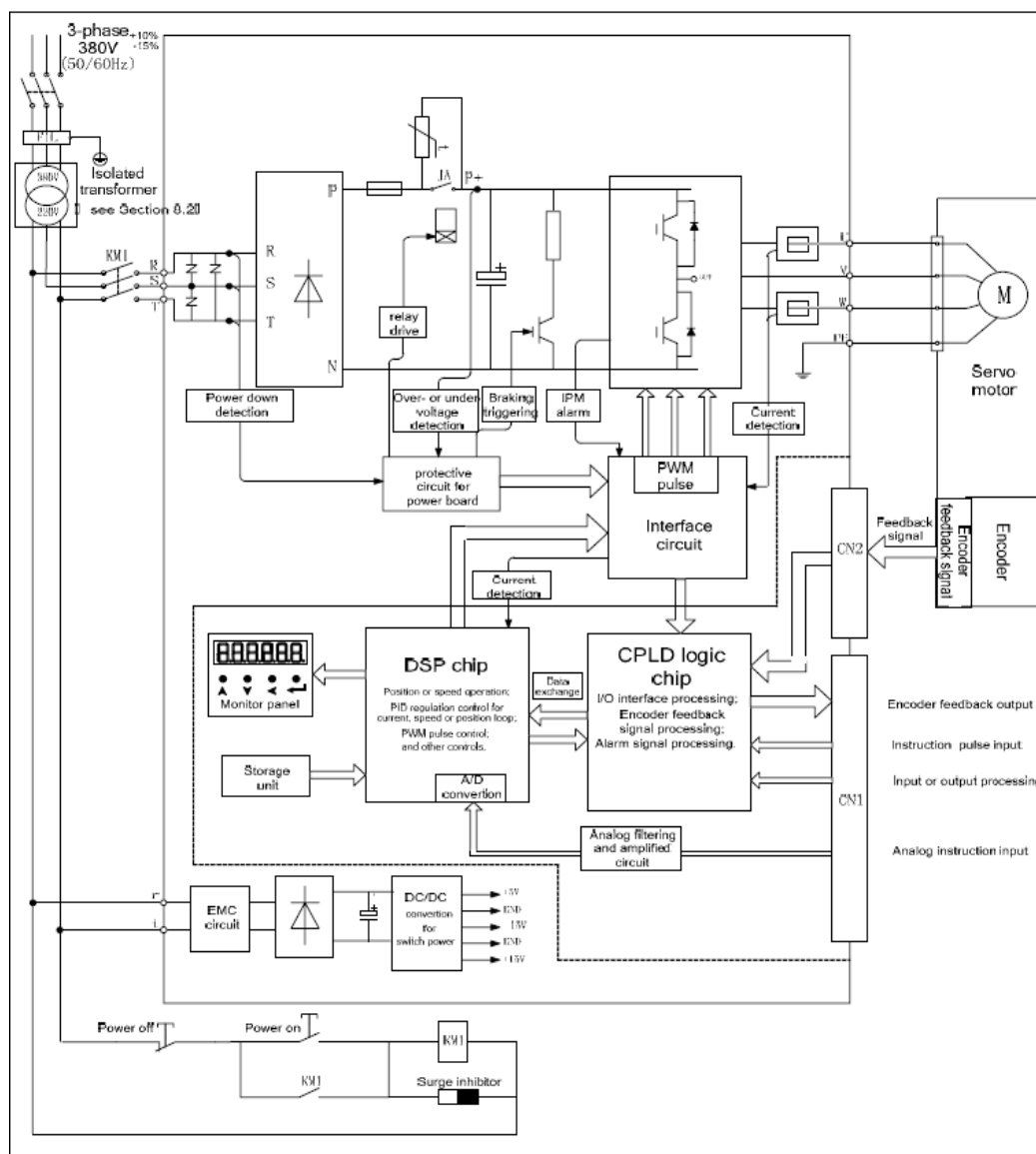


Figura 4.48 Diagrama de bloque interior del servo drive.

Fuente: Manual de usuario GSK DA98B AC Servo Drive Unit.

El servo drive consta de los siguientes cables eléctricos de conexión:

- Conexión servo drive – alimentación de energía.
- Conexión servo drive - encoder del servo motor.
- Conexión servo drive - servo motor.
- Conexión servo drive - PLC.

g.1. Conexión servo drive - alimentación de energía.

La alimentación de energía al servo drive (220 V AC 3Ø) se realiza a través de conductores #14 AWG seleccionados anteriormente.

g.2. Conexión servo drive - encoder del servo motor.

Para lograr el control de posición del servo motor, es necesario realizar la conexión entre el servo drive y el encoder propio del servo motor, la conexión de estos elementos se realiza por medio del cable mostrado en la Figura 4.49.



Figura 4.49 Cable de conexión servo drive - encoder del servo motor.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

g.3. Conexión servo drive - servo motor.

Para la conexión eléctrica entre servo drive y el servo motor, existe el cable de conexión provisto por la casa comercializadora de los elementos mencionados, en la Figura 4.50 se muestra el cable utilizado.

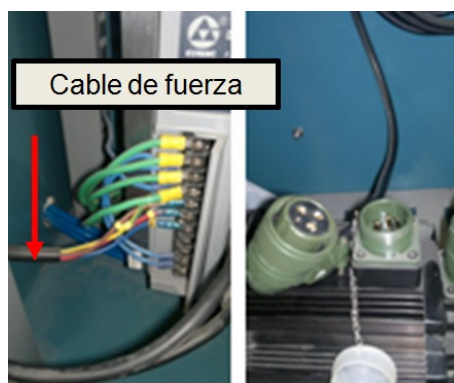


Figura 4.50 Cable de fuerza para la conexión servo drive - servo motor.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

g.4. Conexión servo drive – PLC.

La conexión entre el PLC y el servo drive, se realiza mediante el cable mostrado en la Figura 4.51, que en uno de sus extremos tiene un terminal DB44 (conexión al servo drive), mientras que en el otro extremo tiene un terminal DB 15 (conexión al PLC).



Figura 4.51 Cable de comunicación PLC - Servo drive.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

El servo drive permite controlar tanto la posición como la velocidad del servo motor, las cuales son variables fundamentales para la implementación del proyecto.

Para lograr el control de posición, el servo drive debe recibir una señal de pulsos, la misma que ingresa por el canal 1 y es enviada desde el PLC. Las conexiones se realizan siguiendo el diagrama para el control de posición del servo drive mostrado en el Anexo L8.

En la Figura 4.52 se muestra la conexión interna del cable utilizado para la conexión entre el PLC y el servo drive.

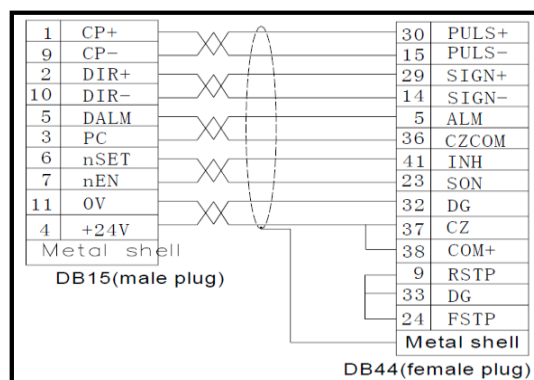


Figura 4.52 Conexión interna del cable PLC - servo drive.

Fuente: Manual de usuario GSK DA98B AC Servo Drive Unit.

Como se mostró en las características del PLC seleccionado, existen dos salidas a transistor (Y0 y Y1), que son las salidas por las cuales se puede enviar las señales de pulsos requeridas por el servo drive para el control de posición del servo motor. En la Figura 4.53 se muestra la conexión realizada entre estos dos elementos.

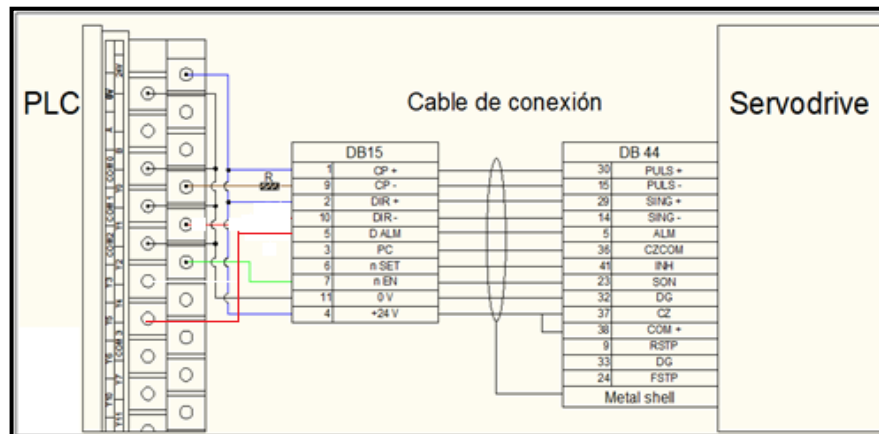


Figura 4.53 Conexión PLC - servo drive.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

La Figura 4.54 muestra las salidas del PLC Y0 y Y1, las cuales se encuentran conectas a las entradas del servo drive por medio de resistencias de 1.8 K Ω , de acuerdo a la sugerencia del manual de instalación del servo drive. Dichas resistencias se emplean para limitar la entrada de la corriente y también realizar un divisor de voltaje.



Figura 4.54 Instalación de resistencias de 1.8 K Ω .

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

h. Conexión del motorreductor.

La conexión entre el motorreductor y el variador de frecuencia se realizó de acuerdo al manual de instalación del variador.

En la Figura 4.55 se muestra el diagrama de instalación del variador de frecuencia VB3-20P4.

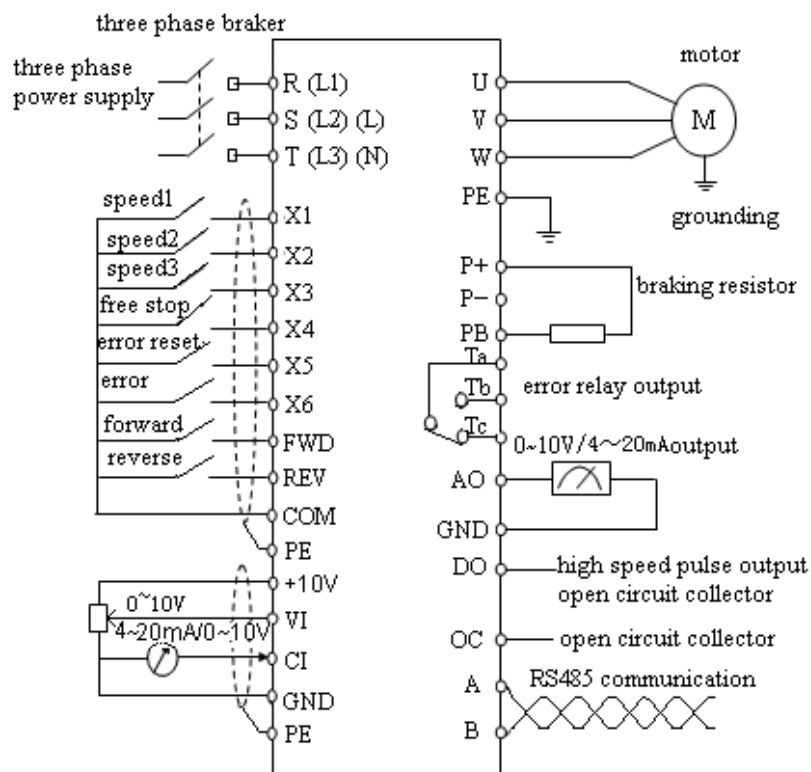


Figura 4.55 Diagrama de instalación del variador de frecuencia.

Fuente: Manual de usuario VB3/VB5/V5 XINJE.

Se utilizaron las entradas de FWD y REV para las señales de control del variador. En la Figura 4.56 se muestra la instalación del variador de frecuencia en el tablero eléctrico de la máquina.



Figura 4.56 Instalación del variador de frecuencia.

Elaborado: López, J. y Santo, M.

La Figura 4.57 muestra la conexión al motorreductor.



Figura 4.57 Conexión al motorreductor.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

En la Figura 4.58 se muestra el tablero eléctrico con todos sus componentes adecuadamente instalados.



Figura 4.58 Instalación completa del tablero eléctrico.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

4.5. PROGRAMACIÓN DEL PLC.

Esta sección tiene como fin explicar cada uno de los pasos a seguir para la programación del PLC y por ende la automatización de la máquina.

Es importante mencionar que el operador de la máquina interactúa directamente con el PLC, debido a que los elementos del panel de mando se encuentran conectados físicamente a dicho dispositivo.

4.5.1. Diagrama funcional de la máquina.

Para iniciar con la programación del PLC primeramente es necesario conocer el diagrama funcional de la máquina el cual se muestra en la Figura 4.59.

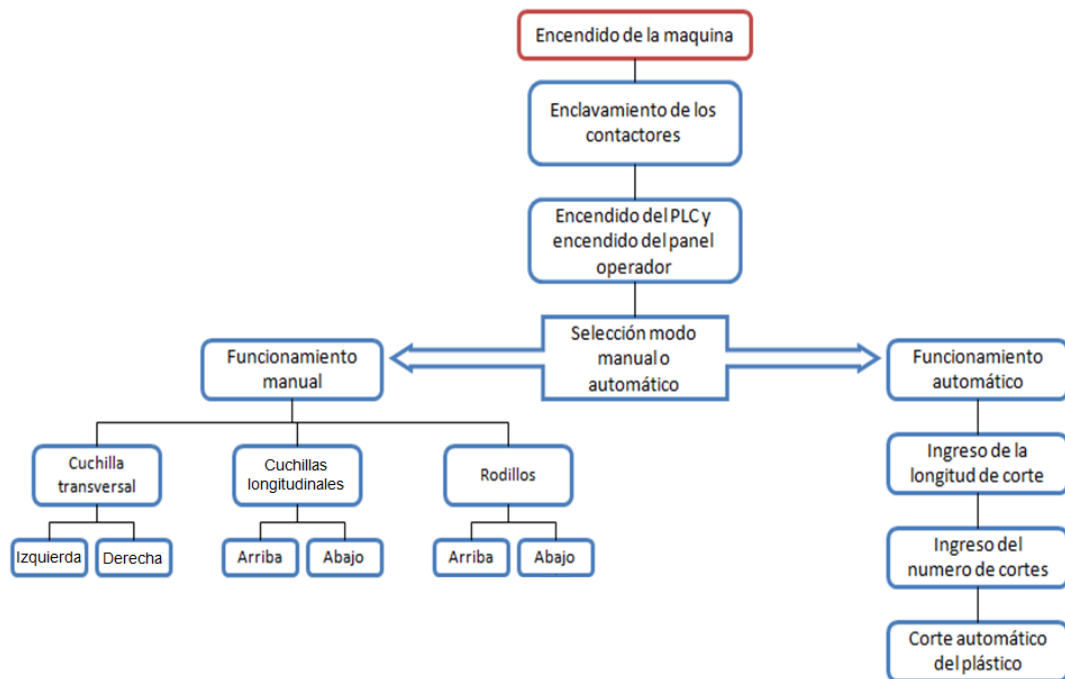


Figura 4.59 Diagrama funcional de la máquina.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

4.5.2. Reconocimiento de señales.

Existen dos tipos de señales utilizadas para la programación del PLC que son:

- Las señales de entradas.
- Las señales salidas.

a. Señales de entrada.

Estas señales serán las encargadas de ordenar, limitar, o proveer de datos al PLC y este a su vez a la máquina. La mayoría de las señales de entrada se encuentran en el tablero de mando, salvo la señal que corresponde a los sensores inductivos, estas señales se encuentran en el proceso de corte transversal.

En la Tabla 4.1 se describe cada una de las entradas utilizadas para la programación del PLC.

Tabla 4.1 Descripción de las señales de entrada.

| Entradas del PLC | Nombre de señal | Tipo de señal | Elemento | Voltaje | Descripción |
|------------------|----------------------------------|---------------|-------------|---------|---|
| X0 | Servo ON | Discreta | Pulsador | 0V | Enciende el servo motor |
| X1 | Cuchilla transversal a derecha | Discreta | Pulsador | 0V | Desplaza la cuchilla transversal de izquierda a derecha |
| X2 | Cuchillas longitudinales ON | Discreta | Pulsador | 0V | Activa las Cuchillas longitudinales |
| X3 | Rodillos abajo | Discreta | Pulsador | 0V | Rodillo presor abajo |
| X4 | Sensor inductivo 1 | Discreta | Sensor | 0V | Final de carrera |
| X5 | Pause | Discreta | Pulsador | 0V | Coloca en pausa a la máquina |
| X6 | Cuchilla transversal a izquierda | Discreta | Pulsador | 0V | Desplaza la cuchilla transversal de derecha a izquierda |
| X7 | Cuchillas longitudinales OFF | Discreta | Pulsador | 0V | Desactiva las Cuchillas longitudinales |
| X10 | Rodillos arriba | Discreta | Pulsador | 0V | Rodillo presor arriba |
| X11 | | | | | Sin conexión |
| X12 | Modo Manual | Discreta | Relé | 0V | Activa el modo manual |
| X13 | Modo Automático | Discreta | Relé | 0V | Activa el modo automático |
| X14 | Reset | Discreta | Pulsador | 0V | Reset alarma servo drive |
| X15 | Paro emergencia | Discreta | Relé | 0V | Detiene el proceso |
| X16 | Alarma servo drive | Discreta | Servo drive | | Activa alarma |
| X17 | Sensor inductivo 2 | Discreta | Sensor | 0V | Final de carrera |
| X20 | | | | | Sin conexión |
| X21 | | | | | Sin conexión |

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

b. Señales de salida.

Estas señales serán las encargadas en accionar los actuadores de la máquina. Las señales de salidas están conectadas a distintos tipos de voltaje como se muestra en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2 Descripción de las señales de salida.

| Salida | Nombre de señal | Tipo de señal | Elemento | Alimentación | Descripción |
|--------|------------------------------|---------------|------------------------|--------------|--|
| Y0 | PLUS + | Pulsos | Servo drive | 0V DC | Salida de pulsos al servo drive |
| Y1 | | | | | Sin conexión |
| Y2 | Servo ON | Discreta | Relé | 0V DC | Enciende el servo motor |
| Y3 | | | | | Sin conexión |
| Y4 | Alarma servo drive | Discreta | Relé | 0V DC | Activa indicador de alarma del servo drive |
| Y5 | Reset | Discreta | Servo drive | 0V DC | Reset servo drive |
| Y6 | Activa FWR | Discreta | Variador de frecuencia | 220V AC | Activa variador a derecha |
| Y7 | Activa REV | Discreta | Variador de frecuencia | 220V AC | Activa variador a izquierda |
| Y10 | Pisador arriba | Discreta | Relé | 220V AC | Eleva pisador |
| Y11 | Pisador abajo | Discreta | Relé | 220V AC | Baja pisador |
| Y12 | Cuchillas longitudinales ON | Discreta | Relé | 220V AC | Acciona cuchillas longitudinales |
| Y13 | Cuchillas longitudinales OFF | Discreta | Relé | 220V AC | Desactiva cuchillas longitudinales |
| Y14 | Rodillo activado | Discreta | Relé | 220V AC | Mantiene el rodillo presor arriba |
| Y15 | Rodillo desactivado | Discreta | Relé | 220V AC | Mantiene el rodillo presor abajo |

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

4.5.3. Conexión del PLC.

Conocidas las funciones de la máquina y a su vez las señales tanto de entrada como de salida del PLC, se procede con conexión de cada uno de sus elementos, para posteriormente continuar con la programación del PLC como se muestra en la Figura 4.60.



Figura 4.60 Conexión del PLC.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

4.5.4. Software de programación.

Para realizar la programación del PLC XINJE es necesario utilizar el software XCP Pro V3.3C, este software permite dos tipos de lenguajes de programación que son lenguaje Ladder y por lista de instrucciones.

Por la facilidad de programación y para un mejor entendimiento de la programación se decide utilizar el lenguaje Ladder para este proyecto; en la Figura 4.61 se muestra la pantalla inicial de software XCP Pro V3.3C.

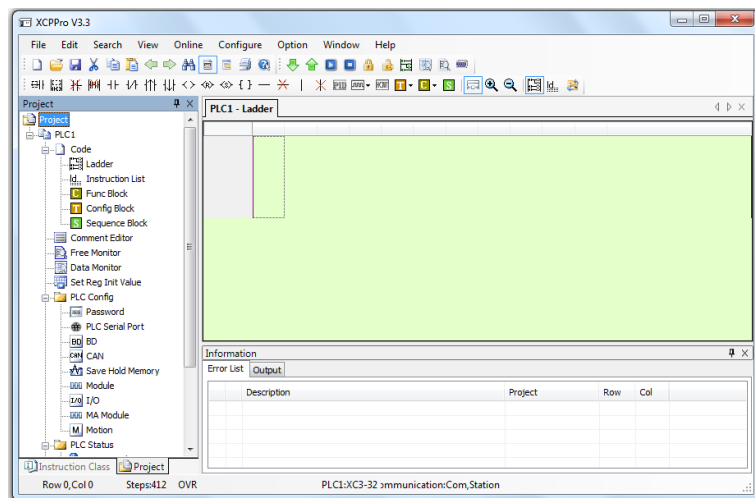


Figura 4.61 Pantalla inicial del programa XCP Pro V3.3C.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

Luego que se ha terminado de elaborar las líneas de programación del PLC en el software XCP Pro V3.3C, el siguiente paso es cargar dicho programa al PLC XINJE mediante un cable conversor de USB a RS-232 y un cable DB9 como se muestra en la Figura 4.62. La programación del PLC se muestra en el Anexo N.



Figura 4.62 Cable de programación PLC - PC.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

4.6. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA HMI.

Para la implementación del sistema HMI se utiliza el panel operador OP-320 seleccionado en el capítulo III, el cual permite el interfaz entre el operador y la máquina. Para la programación del OP se utiliza el software OP20 Edit Tool mostrado en la Figura 4.63.



Figura 4.63 Software OP20 Edit Tool.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

4.6.1. Configuración del software.

La Figura 4.64 muestra la pantalla de inicio del software OP20 Edit Tool.

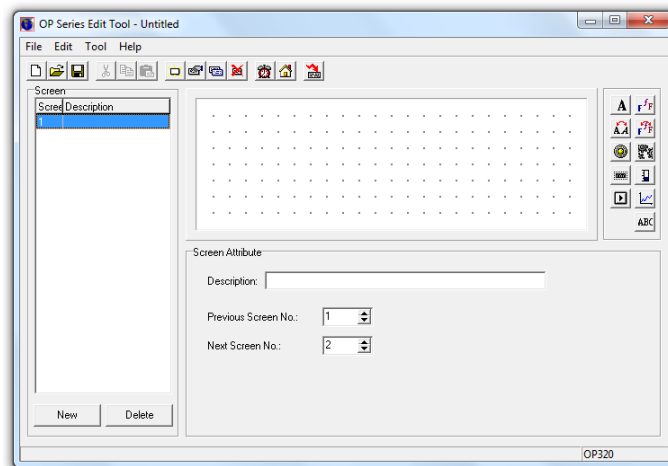


Figura 4.64 Pantalla de inicio del software OP20 Edit Tool.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

El software OP20 Edit Tool permite programar varios modelos de paneles de operación de la marca XINJE. Para seleccionar el OP se debe ingresar a menú, nuevo proyecto, y seleccionar el modelo OP-320 como se muestra en la Figura 4.65.

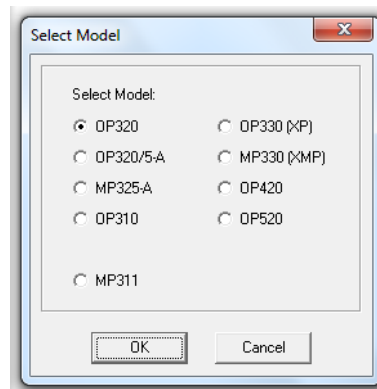


Figura 4.65 Selección del panel de operación.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

Una vez seleccionado el modelo de panel de operación, se elige el tipo de PLC a controlar como se muestra en la Figura 4.66.

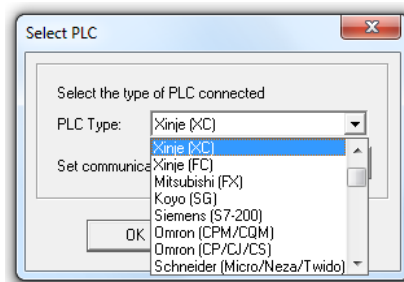


Figura 4.66 Selección del PLC.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

4.6.2. Programación del panel operador.

El panel operador consta de tres pantallas de control, las cuales se detallan a continuación:

a. Pantalla N ° 1.

Esta pantalla corresponde a la presentación de la empresa patrocinadora de este proyecto como se muestra en la Figura 4.67.

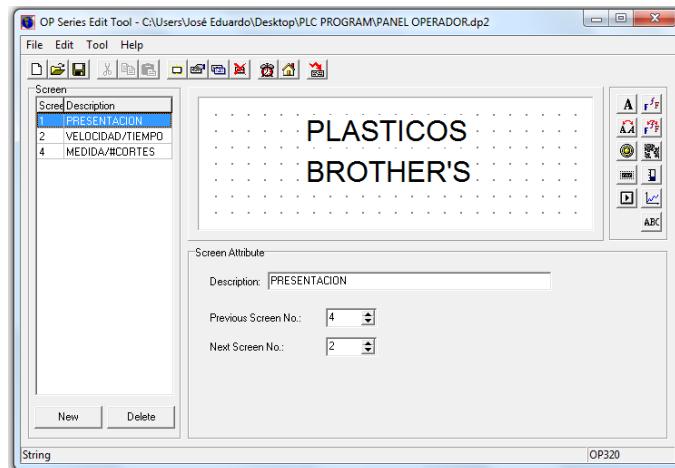


Figura 4.67 Pantalla de presentación.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

b. Pantalla N ° 2.

En esta pantalla se puede ingresar la velocidad con la cual va a trabajar el servo motor, el tiempo para iniciar el corte transversal (accionamiento del variador de frecuencia) y el tiempo de espera para reiniciar un ciclo.

El tiempo de cada ciclo de corte dependerá de los parámetros ingresados en esta pantalla. Como se observa en la Figura 4.68, estos parámetros son importantes debido a que no todos los operadores tienen la misma destreza para realizar el apilado de las láminas de plástico una vez realizado cada ciclo de corte.

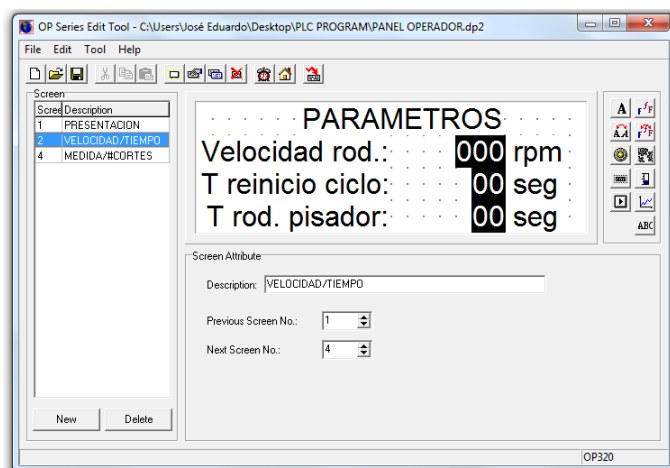


Figura 4.68 Pantalla - Velocidad/Tiempos.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

c. Pantalla N ° 3.

La pantalla 3 mostrada en la Figura 4.69 permite ingresar la medida de corte en milímetros, el número de cortes a realizar, datos que serán utilizados posteriormente por el PLC para el cálculo del número de pulsos a enviar al servo drive. Adicionalmente se puede visualizar el número de cortes realizados y resetear los cortes realizados, por último la pantalla dispone el botón de inicio de cortes.

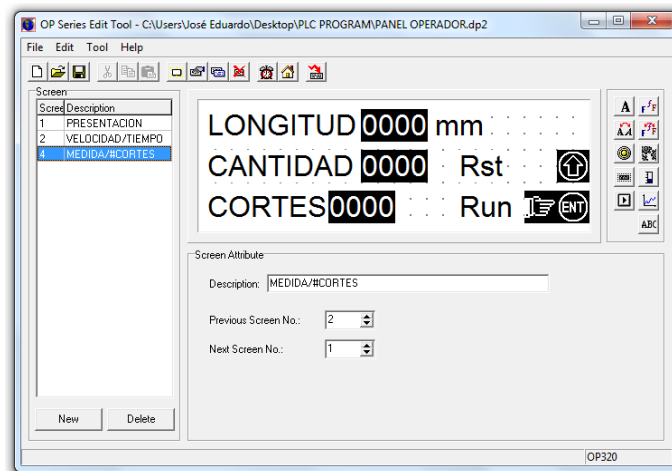


Figura 4.69 Pantalla - Medida/#Cortes.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

CAPÍTULO V

PRUEBAS Y RESULTADOS.

Una vez que se ha concluido con la construcción y el montaje del sistema mecánico, neumático y eléctrico de la máquina, se procede a realizar una evaluación individual de cada uno de estos sistemas, con el propósito de alcanzar un óptimo desempeño de la máquina, a continuación se explican cada una de las pruebas realizadas.

5.1. PRUEBAS DEL SISTEMA MECÁNICO DE LA MÁQUINA.

5.1.1. Prueba de colinealidad - sistema de sujeción y desbobinado.

Para desarrollar esta comprobación, primeramente se retienen los extremos del núcleo de una bobina de plástico PVC entre los conos correspondientes a cada mecanismo del sistema de sujeción y desbobinado.

Luego, se hace rotar al rollo y se verifica visualmente que este tenga un giro uniforme sin cabeceos.

Una vez que se ha realizado esta prueba, se pudo observar que la bobina rota uniformemente sujeta a los conos, lo cual significa que ambos mecanismos de este sistema están correctamente alineados y no se presentará algún tipo de problema en el futuro.

La Figura 5.1 muestra la instalación de la bobina de PVC para la verificación del sistema de sujeción y desbobinado.



Figura 5.1 Verificación del sistema de sujeción y desbobinado.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

5.1.2. Calibración del sistema de frenado.

El sistema de frenado permite tener un control en el giro de la bobina y también mantener tensada la lámina PVC para facilitar la penetración de las cuchillas de corte longitudinal.

Por medio del tornillo de regulación se comprime el resorte, el cual provee la fuerza de accionamiento a la zapata circular sobre el tambor giratorio y de esta forma se genera el par de frenado requerido. La Figura 5.2 muestra la calibración del sistema de frenado.

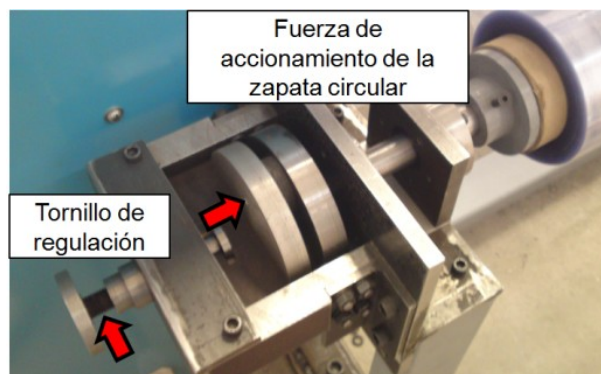


Figura 5.2 Calibración del sistema de frenado.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

5.1.3. Pruebas del sistema de guiado.

Mediante esta prueba se pretende asegurar que los ejes de rotación de cada uno de los rodillos guía se encuentren ubicados paralelamente con respecto al eje de rotación de la bobina de PVC.

Con ayuda de un calibrador se verificó que los soportes de piso con rodamiento Y de cada uno de los rodillos guía estén instalados en la posición correcta para conseguir que la lámina de PVC sea dirigida al sistema de arrastre sin arrugas y también se forme una superficie que ayude a la penetración de las cuchillas de corte longitudinal.

En la Figura 5.3 se puede observar la configuración de los rodillos guía después de que se realizó la calibración necesaria.



Figura 5.3 Calibración del sistema de guiado.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

5.1.4. Pruebas en el sistema de corte longitudinal.

Después de instalar las cuchillas en los portacuchillas del sistema de corte longitudinal, se comprueba que todas penetren en la lámina PVC y efectúen el corte solicitado.

Como se aprecia en la Figura 5.4, dos de las seis cuchillas no logran penetrar en la lámina de plástico, esto se debe principalmente a que no están ubicadas en la posición donde tienen su mayor campo de acción y también a que el eje portacuchillas no gira el ángulo necesario para realizar el corte.

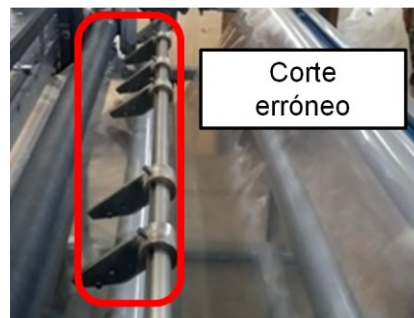


Figura 5.4 Verificación de penetración de las cuchillas.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

Para corregir este problema, se colocan las cuchillas a la distancia adecuada y se regula la longitud del vástago del cilindro neumático como se puede visualizar en la Figura 5.5.



Figura 5.5 Regulación de la longitud del vástago.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

Finalmente, se realiza nuevamente esta prueba y se obtienen buenos resultados.

5.1.5. Pruebas del sistema de arrastre.

El propósito de esta prueba es comprobar que exista el agarre necesario entre el rodillo presor y el rodillo tractor a lo largo de toda su longitud de acción y así evitar el deslizamiento de la lámina de plástico durante el arrastre.

Para efectuar esta evaluación, se ubican galgas de 0,08 mm de espesor entre ambos rodillos de arrastre a una distancia de 20 cm, posteriormente se verifica que cada una de las galgas tengan el agarre necesario.

También se verifica que exista el juego necesario entre los engranes instalados a uno de los extremos tanto del rodillo presor como del rodillo tractor con el objeto de extender la vida útil de ambos componentes.

En la Figura 5.6 se puede apreciar la inspección visual realizada a los engranes.



Figura 5.6 Inspección visual a los engranes.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

5.1.6. Pruebas del sistema se corte transversal.

Uno de los objetivos principales de este proyecto es la calidad del corte transversal, por tal motivo es necesario desarrollar las pruebas necesarias hasta conseguir un corte en perfectas condiciones.

Al realizar la prueba del sistema de corte transversal se puede apreciar que la lámina PVC no se desliza con facilidad entre la mesa fija y el pisador, esto se debe a que la cuchilla obstruye el paso del plástico en uno de los extremos.

Para solucionar este inconveniente se reduce la longitud de los resortes instalados en la guía lineal obteniendo de esta manera que la cuchilla de corte transversal tenga un campo de acción mas amplio y no interrumpa el paso de la lámina PVC como se observa en la Figura 5.7.

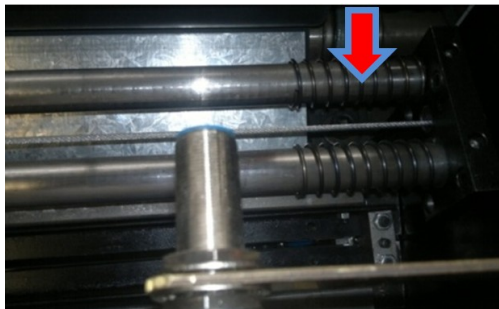


Figura 5.7 Reducción de la longitud de los resortes.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

5.2. PRUEBAS DEL SISTEMA NEUMÁTICO DE LA MÁQUINA.

Una vez que se ha revisado el sistema mecánico, se continúa con las pruebas del sistema neumático, las cuales se describen a continuación:

5.2.1. Regulación de velocidad del cilindro neumático del eje portacuchillas.

La regulación de la velocidad tanto en la salida así como en el retorno del vástago del actuador neumático que acciona el eje portacuchillas se consigue por medio de dos válvulas reguladoras de caudal como se muestran en la Figura 5.8. Mediante estas válvulas se evita la penetración brusca de las cuchillas en la lámina PVC.

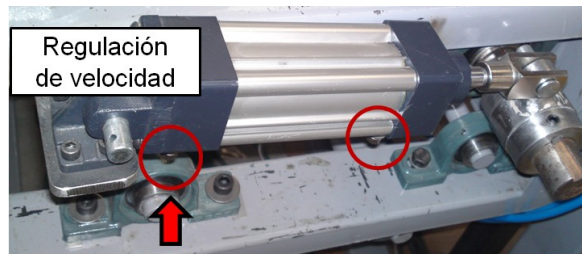


Figura 5.8 Calibración del cilindro neumático del eje portacuchillas

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

5.2.2. Regulación de velocidad de los cilindros neumáticos del rodillo presor.

Los vástagos de estos cilindros deben salir y retornar a la misma velocidad para evitar que los soportes tensor con rodamiento Y instalados a los extremos del rodillo presor se atasquen en la guías T. Se procede con la calibración de las válvulas reguladoras de caudal mostradas en la Figura 5.9 para lograr este propósito.

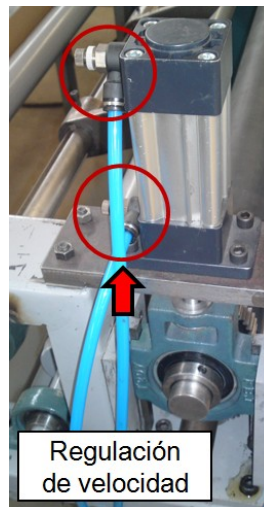


Figura 5.9 Calibración de cilindros neumáticos del rodillo presor.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

5.2.3. Regulación de velocidad de los cilindros neumáticos del pisador.

Los micro cilindros utilizados para levantar el pisador no presentan algún tipo de problema en su funcionamiento, únicamente se gradúa la velocidad de salida y retorno con la finalidad de evitar golpes violentos del pisador contra la mesa de fijación. En la Figura 5.10 se observa los actuadores neumáticos del pisador instalados y funcionando.

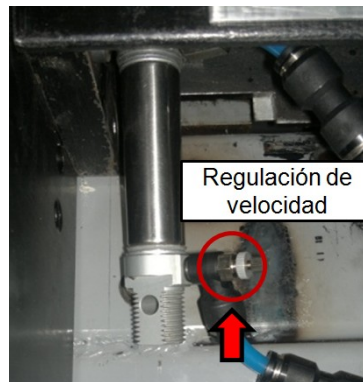


Figura 5.10 Calibración de los cilindros neumáticos del pisador.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

5.3. PRUEBAS DEL SISTEMA ELÉCTRICO - ELECTRÓNICO DE LA MÁQUINA.

5.3.1. Revisión de conexiones en el tablero de mando.

Para verificar el funcionamiento del tablero de mando, se debe accionar cada uno de los componentes conectados a las entradas del PLC y posteriormente verificar si se encienden los LEDs correspondientes a cada una de las entradas en el autómata.

Se pudo observar que cada uno de los elementos del tablero de mando están conectados correctamente a la entrada establecida en el PLC. En la Figura 5.11 se muestra la activación de las entradas del autómata.



Figura 5.11 Verificación de conexión del tablero de mando - PLC.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

5.3.2. Revisión de conexiones en el tablero eléctrico.

Las pruebas realizadas en el tablero eléctrico son a fin de detectar anomalías que interfieran con el funcionamiento de los componentes

eléctricos existentes en él, para ello se realiza una corta programación al PLC y se constata la activación de cada uno de estos elementos, ya sea visualmente o realizando mediciones de voltaje.

Se encontró que algunas borneras no estaban bien ajustadas y no hacían buen contacto provocando que algunos relés no se enclaven. Se reajustó y se probó nuevamente obteniendo buenos resultados como se muestra en la Figura 5.12.



Figura 5.12 Verificación de conexiones del tablero eléctrico.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

5.3.3. Comunicación PLC - OP-320.

La conexión entre el PLC y el panel operador OP-320 se realiza mediante un cable DB9 como el mostrado en la Figura 5.13, una vez programado el OP, no se presentan fallas de comunicación con el PLC.



Figura 5.13 Cable de conexión PLC - Panel de operación.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

5.3.4. Comunicación PLC - servo drive.

Para la conexión entre estos dos elementos se utiliza el cable DB44 – DB15 mostrado en la Figura 5.14.



Figura 5.14 Cable de comunicación PLC - servo drive.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

Se pudo constatar que cuando el PLC enviaba la señal de pulsos al servo drive para que este a su vez accione al servo motor, la señal llegaba distorsionada y dicho servo motor tendía a detenerse en una posición errónea a la establecida mediante el OP.

Es importante mencionar que en la empresa auspiciante del proyecto existen selladoras que trabajan con alta frecuencia las cuales contaminan con un nivel de ruido considerable a toda la red eléctrica, a esto se debe la distorsión de la señal de pulsos y su fallida comunicación,

Para superar este problema se diseñó una puesta a tierra a fin de realizar la conexión eléctrica entre la máquina y la tierra. Gracias a esta conexión se pudo eliminar este percance, en la Figura 5.15 se muestra la construcción de la puesta a tierra.



Figura 5.15 Construcción de la puesta a tierra.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

Para que el sistema de puesta a tierra trabaje de mejor manera; eliminando el ruido que ocasiona la distorsión de señal; también se aterriza el cable apantallado que lleva la señal de pulsos.

5.3.5. Funcionamiento del servo motor.

Para verificar el estado de las conexiones del servo motor, mediante el PLC se envían las señales de pulsos al servo drive y se verifica que el eje de dicho servo motor se detenga en la posición establecida.

Una vez verificadas las conexiones no se presenta ningún inconveniente. Cabe mencionar que las poleas dentadas de la transmisión de potencia al sistema de arrastre están alineadas correctamente para evitar que la banda dentada se salga de dichas poleas, además para dar mayor seguridad se fabrica e instala unas guías en la polea acoplada al servo motor como se muestra en la Figura 5.16.

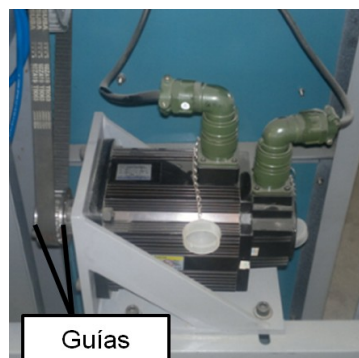


Figura 5.16 Verificación del funcionamiento del servo motor

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

5.3.6. Funcionamiento del panel de operación.

Para verificar funcionamiento del OP-320 y también la comunicación entre este dispositivo y el PLC, primeramente se envían datos desde el panel de operación y luego se confirma que se activen las salidas adecuadas en el autómata.

Una vez que se ha realizado esta comprobación, se asegura que no existirán problemas de conexión en el futuro entre el OP y el PLC como se observa en la Figura 5.17.



Figura 5.17 Verificación del funcionamiento del OP-320.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

5.3.7. Monitoreo del PLC.

El software XCP Pro V3.3 permite realizar la programación y monitoreo del funcionamiento del PLC, es decir obtener datos del estado de sus entradas, salidas, contadores, temporizadores, etc. Una vez que el PLC se encuentre en línea con el software, se selecciona la opción Data monitor para ejecutar la función de monitoreo. En la Figura 5.18 se aprecia la ubicación de la opción Data monitor.

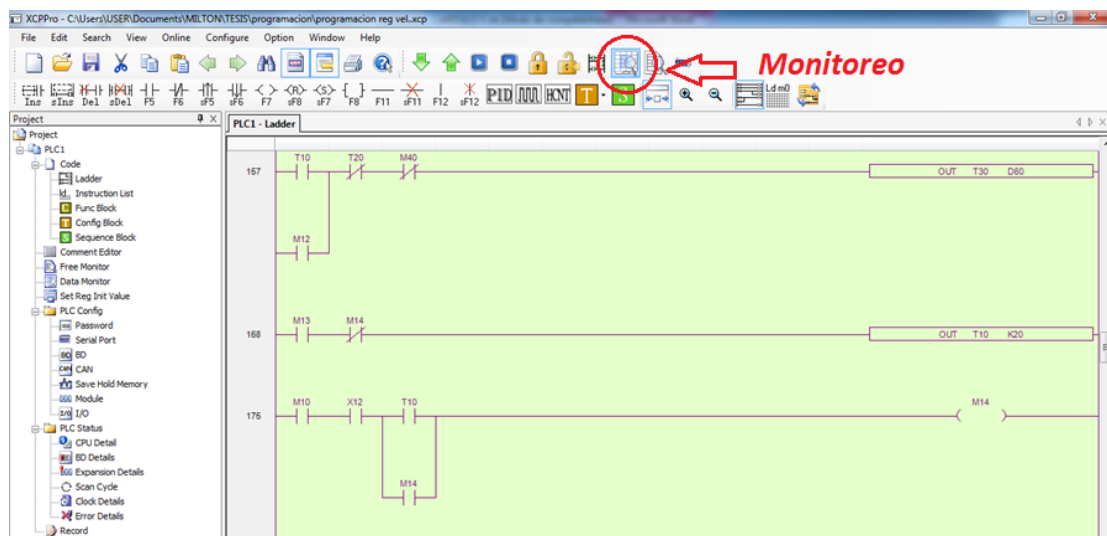


Figura 5.18 Monitoreo del PLC.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

5.4. FUNCIONAMIENTO COMPLETO DE LA MÁQUINA.

5.4.1. Comprobación de la velocidad de corte.

De acuerdo al diseño realizado en el capítulo II, la máquina debe ejecutar no menos de 400 cortes de 65 cm por hora.

El número de cortes realizados depende de los parámetros ingresados en la pantalla #2 del panel operador, como son: la velocidad del servo motor, tiempo de reinicio de ciclo y el tiempo de espera para iniciar el corte transversal.

Para la operación normal de la máquina se ingresan los siguientes parámetros.

- Velocidad del servo motor: 200 rpm.
- Tiempo de reinicio de ciclo: 2 seg.
- Tiempo de inicio de corte transversal: 1 seg.

Con estos parámetros se logra cortar 14 tiras de plástico por minuto, es decir se corta una tira en cada 4.28 seg como se aprecia en la Figura 5.19.

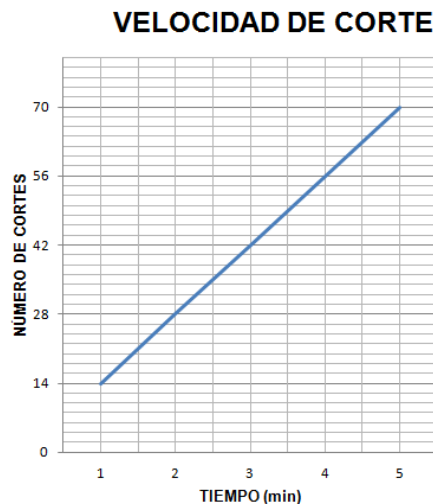


Figura 5.19 Velocidad de corte.

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

A una velocidad de 14 cortes por minuto se consiguen una cantidad de 840 tiras por hora, que es más del doble de los requerimientos de la empresa.

5.4.2. Comprobación de las medidas de corte.

Primeramente para desarrollar esta prueba se realizan 40 cortes a una medida de 650 mm. Después de haber concluido el corte, con los datos obtenidos se realiza la grafica de la Figura 5.20.

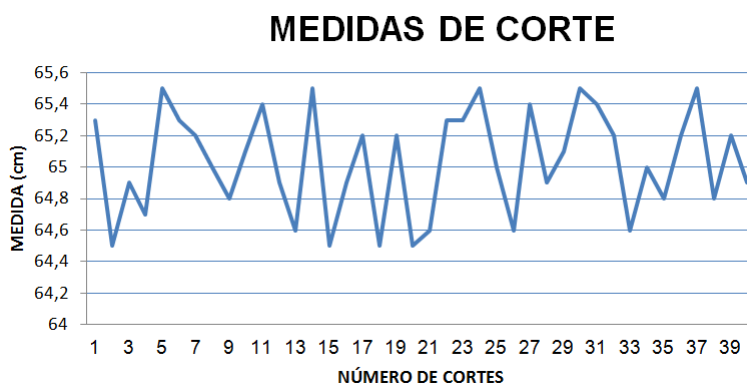


Figura 5.20 Medidas de cortes realizados (Primera prueba).

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

La Figura 5.20 muestra que los cortes realizados por la máquina no son uniformes, pues tienen una tolerancia de medida de ± 5 mm. Al revisar detenidamente el sistema de arrastre se determina que el rodillo presor no está agarrando completamente la lámina PVC y durante el arrastre el plástico tiende a deslizarse.

Para corregir este inconveniente, se regula la presión de aire de los actuadores neumáticos del rodillo presor, también se realiza algunos cambios en el control del servo drive y se procede a realizar nuevamente esta prueba.

De la misma manera se toman muestras de las primeras 40 tiras como se observa en la Figura 5.21. Cabe mencionar que la medida de las tiras de plástico debe tener una tolerancia de ± 1 mm con el objeto de conseguir la mayor cantidad de cortes por cada rollo.

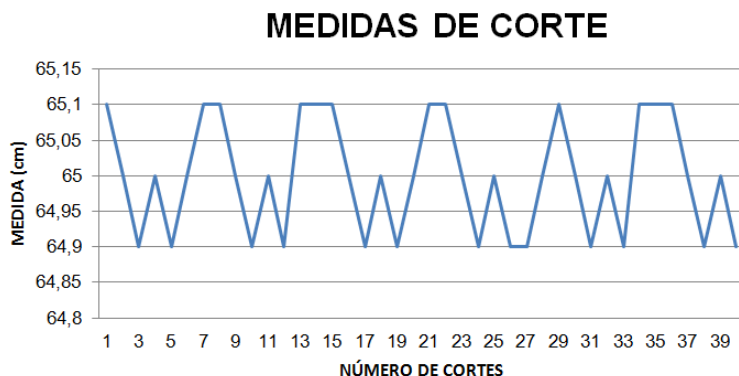


Figura 5.21 Medida de cortes (Segunda prueba).

Elaborado: López, J. y Santo, M.

Como se aprecia en la Figura 5.21, los cortes realizados tienen un margen de error de ± 1 mm con respecto a la medida fijada en el OP (650 mm), lo cual significa que el proyecto satisface los requerimientos establecidos por la empresa.

5.5. ELABORACIÓN DEL MANUAL DE OPERACIÓN Y PLAN DE MANTENIMIENTO DE LA MÁQUINA.

El manual de operación y el plan de mantenimiento se detallan en el Anexo N.

CAPÍTULO VI

ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO.

El análisis técnico económico significa una valoración de la inversión económica comparada con los beneficios que se obtendrán por la construcción y utilidad de la máquina o sistema. Esta fase es muy importante ya que de ella depende la posibilidad de implementación del activo físico.

En el análisis técnico económico, el analista se basa en algunos instrumentos específicos para evaluar si es conveniente la ejecución del proyecto y estos son:

- El periodo de recuperación del capital invertido (PRC).
- El valor actual neto (VAN).
- La tasa interna de retorno (TIR).
- Relación beneficio - costo (RBC).

Los resultados obtenidos del análisis técnico económico son la base para determinar sobre si continuar o abandonar el proyecto, si hay riesgos de que no funcione, no tenga la rentabilidad deseada, o si comparado con los beneficios resulta demasiado caro.

El punto de partida es conocer el capital de inversión inicial, después se utilizan las herramientas anteriormente descritas, y finalmente se obtiene una decisión con respecto a la viabilidad del proyecto.

6.1. COSTO TOTAL DE LA MÁQUINA.

Representa el costo de investigación, materiales y equipos adquiridos además de la construcción, montaje y automatización del proyecto mencionado. Para ello se desglosarán los costos en cada sistema constitutivo de la máquina y se tomarán en cuenta también los costos adicionales.

6.1.1. Costos del sistema eléctrico y de control.

Los costos generados por la compra de equipos y materiales para el sistema eléctrico y de control se detallan en la Tabla 6.1.

Tabla 6.1 Costos del sistema eléctrico y de control.

| ÍTEM | DENOMINACIÓN | CANT. | V. UNIT. | V. TOT. |
|------------------|---|-----------|----------------|----------------|
| 1 | Servo unidad GSK DA98B-10-130SJT-M040D. | 1 (u.) | 1760,15 c/u | 1760,15 |
| 2 | Motorreductor ortogonal MOTIVE BOX030, i 7,5 (Motor 3Ø 56B-4, 1346 rpm, 0,09 Kw, 220 V). | 1 (u.) | 267,85 c/u | 267,85 |
| 3 | PLC XINJE THINGET XC3-32RT-E. | 1 (u.) | 276,8 c/u | 276,80 |
| 4 | Variador de frecuencia XINJE VB3-20P4. | 1 (u.) | 186,24 c/u | 186,24 |
| 5 | Panel operador XINJE OP320. | 1 (u.) | 200,9 c/u | 200,90 |
| 6 | Contactador LS GMC 9A – 220V. | 2 (u.) | 11,03 c/u | 22,06 |
| 7 | Breaker CAMSCO C60N 3P 1A. | 1 (u.) | 12,78 c/u | 12,78 |
| 8 | Breaker CAMSCO C60N 3P 10A. | 1 (u.) | 12,78 c/u | 12,78 |
| 9 | Breaker CAMSCO C60N 3P 16A. | 1 (u.) | 12,78 c/u | 12,78 |
| 10 | Selector tres posiciones CAMSCO 22mm. | 1 (u.) | 1,71 c/u | 1,71 |
| 11 | Selector dos posiciones con llave CAMSCO. | 1 (u.) | 3,89 c/u | 3,89 |
| 12 | Mini relé encapsulado CAMSCO MK2P-1-220VAC. | 12 (u.) | 2,82 c/u | 33,84 |
| 13 | Mini relé encapsulado CAMSCO MK2P-1-24VDC. | 2 (u.) | 2,82 c/u | 5,64 |
| 14 | Base mini relé CAMSCO 8 huecos planos. | 14 (u.) | 1,32 c/u | 18,48 |
| 15 | Pulsador normal CAMSCO FPB-EA1/G, FPB-EA2/R. | 10 (u.) | 1,50 c/u | 15,00 |
| 16 | Pulsador de hongo CAMSCO MPB-BC2. | 1 (u.) | 3,50 c/u | 3,50 |
| 17 | Pulsador iluminado CAMSCO. | 1 (u.) | 3,50 c/u | 3,50 |
| 18 | Luz piloto electrónica CAMSCO AD1622DS-220V/G/R/Y. | 12 (u.) | 1,40 c/u | 16,80 |
| 19 | Cable flexible THW #16AWG. | 1 (roll.) | 26,7 c/roll | 26,70 |
| 20 | Cable flexible THW #4X14AWG. | 20 (m.) | 1,90 c/m | 38,00 |
| 21 | Enchufe 3P + GND. | 1 (u.) | 6,40 c/u | 6,40 |
| 22 | Riel DIN 35 X 2m SCHNEIDER ELECTRIC. | 2 (u.) | 5,42 c/u | 10,84 |
| 23 | Canaleta DEXSON 40mm x 40mm x 2m. ranurada gris. | 3 (u.) | 5,78 c/u | 17,34 |
| 24 | Bornera LEGRAND 600V 22 – 10AWG. | 40 (u.) | 1,10 c/u | 44,00 |
| 25 | Prensaestopa DEXSON 22mm. | 1 (u.) | 2,80 c/u | 2,80 |
| 26 | Placa de baquelita 100mm x 100mm. | 1 (u.) | 1,45 c/u | 1,45 |
| 27 | Mini bornera para circuito impreso. | 6 (u.) | 0,25 c/u | 1,50 |
| 28 | Resistencias 1,8KΩ 0,5w. | 3 (u.) | 0,10 c/u | 0,30 |
| 29 | Sensor de proximidad inductivo HANYOUNG NUX LM18-3005NA. | 2 (u.) | 44,30 c/u | 88,60 |
| 30 | Terminales eléctricos. | - | - | 17,37 |
| Subtotal. | | | | 3110,00 |
| IVA. | | | | 373,20 |
| TOTAL. | | | | 3483,20 |

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

6.1.2. Costos del sistema neumático.

Los costos debidos a la adquisición de elementos de: trabajo, maniobra, procesamiento, entrada y alimentación para la implementación del sistema neumático se muestran en la Tabla 6.2.

Tabla 6.2 Costos del sistema neumático.

| ÍTEM | DENOMINACIÓN | CANT. | V. UNIT. | V. TOT. |
|------------------|--|-----------|-------------|----------------|
| 1 | Unidad de mantenimiento MINDMAN FRL MACP400-15A. | 1 (u.) | 81,09 c/u | 81,09 |
| 2 | Cilindro estándar ISO-VDMA MINDMAN MCMI-11-16-25. | 2 (u.) | 44,64 c/u | 89,28 |
| 3 | Cilindro estándar ISO-VDMA MINDMAN MCQI-11-32-30M-FAC. | 2 (u.) | 67,72 c/u | 135,44 |
| 4 | Cilindro estándar ISO-VDMA MINDMAN MCQI-11-32-60M-CDB. | 1 (u.) | 82,76 c/u | 82,76 |
| 5 | Regulador de presión MINDMAN MAR200-8A. | 1 (u.) | 34,25 c/u | 34,25 |
| 6 | Electroválvula direccional MINDMAN 5/3 MVSC-220-4E2C-AC220. | 3 (u.) | 90,20 c/u | 270,60 |
| 7 | Regulador de velocidad JSC 8-02. | 6 (u.) | 9,84 c/u | 59,04 |
| 8 | Regulador de velocidad JSC 6-M5. | 4 (u.) | 4,46 c/u | 17,85 |
| 9 | Válvula colizante MVHS-10A. | 1 (u.) | 14,95 c/u | 14,95 |
| 10 | Tubería de poliuretano MINDMAN UM0850-100-BU. | 30 (m.) | 1,25 c/m | 37,50 |
| 11 | Manguera de caucho y lona para aire ½ pulg. 200psi. | 7,5 (m.) | 3,37 c/m | 25,28 |
| 12 | Base manifold MINDMAN MVSC-220-5B3. | 1 (u.) | 9,60 c/u | 9,60 |
| 13 | Conector instantáneo T JPE-8. | 4 (u.) | 3,08 c/u | 12,32 |
| 14 | Conector instantáneo Unión/Reducción JPU 8-6N. | 4 (u.) | 3,13 c/u | 12,5 |
| 15 | Conector instantáneo codo JPL 8-02. | 7 (u.) | 2,35 c/u | 16,45 |
| 16 | Conector instantáneo recto JPC 8-02. | 2 (u.) | 1,87 c/u | 3,74 |
| 17 | Conector instantáneo recto JPC 8-03. | 1 (u.) | 2,13 c/u | 2,13 |
| 18 | Conector instantáneo recto JPC 8-04. | 1 (u.) | 2,28 c/u | 2,28 |
| 19 | Conector Y para cilindro estándar ISO-VDMA MINDMAN MCQI-11-40-70M-CDB. | 1 (u.) | 7,44 c/u | 7,44 |
| 20 | Pin conector Y para cilindro estándar ISO-VDMA MINDMAN MCQI-11-40-70M-CDB. | 1 (u.) | 2,42 c/u | 2,42 |
| 21 | Silenciadores de escape MSL-B-04. | 2 (u.) | 2,23 c/u | 4,46 |
| 22 | Tapón hexagonal interno bronce niquelado PT½. | 3 (u.) | 0,93 c/u | 2,79 |
| 23 | Acople rápido MSF-40-B. | 1 (u.) | 9,59 c/u | 9,59 |
| 24 | Acople rápido MPH-40-B. | 1 (u.) | 2,80 c/u | 2,80 |
| 25 | Acople rápido MSH-40-B. | 1 (u.) | 8,23 c/u | 8,23 |
| 26 | Acople rápido MPM-40-B. | 1 (u.) | 3,15 c/u | 3,15 |
| 27 | Unión bronce niquelado PT¾. | 1 (u.) | 2,74 c/u | 2,74 |
| 28 | Neplo bronce niquelado PT¾. | 1 (u.) | 1,47 c/u | 1,47 |
| 29 | Bushing bronce niquelado PT½M x PT¾H. | 1 (u.) | 2,09 c/u | 2,09 |
| 30 | Teflón 3M. | 2 (roll.) | 0,57 c/roll | 0,57 |
| 31 | Accesorios de montaje | - | - | 5,46 |
| Subtotal. | | | | 960,27 |
| IVA. | | | | 115,23 |
| TOTAL. | | | | 1075,50 |

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

6.1.3. Costos del sistema mecánico.

Los Costos generales correspondientes a la adquisición de materiales necesarios para la construcción del sistema mecánico se exponen en la Tabla 6.3. El Anexo K muestra detalladamente los costos correspondientes al sistema mecánico.

Tabla 6.3 Costos generales del sistema mecánico.

| ÍTEM | DENOMINACIÓN | V. TOTAL |
|------|--|----------------|
| 1 | Costos del sistema de sujeción y desbobinado. | 52,91 |
| 2 | Costos del sistema de frenado de la bobina. | 18,59 |
| 3 | Costos del sistema de guiado. | 84,64 |
| 4 | Costos del sistema de corte longitudinal. | 53,20 |
| 5 | Costos del sistema de arrastre. | 993,04 |
| 6 | Costos del sistema de corte transversal. | 188,39 |
| 7 | Costos de la estructura principal de la máquina. | 250,95 |
| 8 | Costos adicionales. | 202,98 |
| | Subtotal. | 1844,70 |
| | IVA. | 221,36 |
| | TOTAL. | 2066,06 |

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

6.2. INVERSIÓN INICIAL.

El costo total generado por la adquisición de materiales y equipos para la implementación de la máquina se representa en la Tabla 6.4.

Tabla 6.4 Costo total de materiales directos de la máquina.

| ÍTEM | DENOMINACIÓN | V. TOTAL |
|------|--|----------------|
| 1 | Costos del sistema mecánico. | 2066,06 |
| 2 | Costos del sistema neumático. | 1075,50 |
| 3 | Costos del sistema eléctrico y de control. | 3483,20 |
| | TOTAL. | 6624,76 |

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

Conjuntamente con los costos debidos a la adquisición de equipos y materiales también se considera el valor de la mano de obra directa desglosada en: costo de mecanizado, construcción y montaje del sistema mecánico, servicio de pintura y automatización de la máquina como se puede observar en la Tabla 6.5.

Tabla 6.5 Costo total de mano de obra directa.

| ÍTEM | DENOMINACIÓN | V. TOTAL |
|------|--|----------------|
| 1 | Mecanizado, construcción y montaje del sistema mecánico. | 982,14 |
| 2 | Pintura. | 53,60 |
| 3 | Automatización de la máquina. | 714,00 |
| | Subtotal. | 1749,74 |
| | IVA. | 209,97 |
| | TOTAL. | 1959,71 |

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

Finalmente la Tabla 6.6 representa la inversión inicial necesaria para la construcción e implementación del proyecto, la cual es la suma de los costos totales de materiales directos, mano de obra directa y otros costos indirectos.

Tabla 6.6 Costo total de la máquina (Inversión inicial).

| ÍTEM | DENOMINACIÓN | V. TOTAL |
|-----------------------------------|--------------------------|----------------|
| 1 | Materiales directos. | 6624,76 |
| 2 | Mano de obra directa. | 1959,71 |
| 3 | Otros costos indirectos. | 150,00 |
| TOTAL (Inversión inicial). | | 8734,47 |

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

Entonces según el resultado de la Tabla 6.6 se necesita una inversión inicial de 8734,47 dólares americanos.

6.3. FLUJOS DE CAJA.

Para elaborar el flujo de caja, se realiza con una proyección estimada para 5 años y se consideran los datos de la Tabla 6.6.

En la Tabla 6.7 se muestra la proyección de la inversión de un año para la máquina de corte, teniendo en cuenta materia prima (Materiales directos), el pago a trabajadores y otros costos indirectos.

Tabla 6.7 Inversión año 1 proyectada de la máquina.

| ÍTEM | DENOMINACIÓN | V. TOTAL |
|------------------------|--------------------------|-----------------|
| 1 | Materiales directos. | 9240,32 |
| 2 | Mano de obra directa. | 4224,00 |
| 3 | Otros costos indirectos. | 500,00 |
| Inversión año 1 | | 13964,32 |

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

Para obtener los flujos de caja en el proyecto se toman los siguientes lineamientos:

- La proyección de ventas para el primer año en la división de corte y sellado considerando datos históricos de la empresa se prevé será de 18500,00.
- Para los años siguientes se estima un incremento del 2% en la inversión.

- El propósito es incrementar un 15% anualmente en ventas.

De acuerdo con las consideraciones anteriores, se proyecta el flujo de caja de la Tabla 6.8.

Tabla 6.8 Flujos de caja proyectados para 5 años.

| DETALLE | AÑO 0 | AÑO 1 | AÑO 2 | AÑO 3 | AÑO 4 | AÑO 5 |
|------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| INVERSIÓN. | 8734,47 | 13964,32 | 14243,60 | 14528,47 | 14819,04 | 15115,42 |
| VENTAS. | - | 18500,00 | 21275,00 | 24466,25 | 28136,18 | 32356,61 |
| FLUJOS DE CAJA. | -8734,47 | 4535,68 | 7031,39 | 9937,77 | 13317,13 | 17241,18 |

Elaborado por: López, J. y Santo, M.

6.4. VALOR ACTUAL NETO (VAN).

También se conoce como el valor presente neto (VPN); definiéndose como la diferencia entre los ingresos y egresos (incluida como egreso la inversión) a valores actualizados o la diferencia entre los ingresos netos y la inversión inicial. Mide la rentabilidad del proyecto en valores monetarios que exceden a la rentabilidad deseada después de recuperar toda la inversión. Para ello, calcula el valor actual de todos los flujos futuros de caja proyectados a partir del primer periodo de operación y le resta la inversión total expresada en el momento cero.

- “Si (VAN) > 0, mostrara cuanto se gana con el proyecto.
- Si (VAN) = 0, la rentabilidad del proyecto es igual a la tasa (K) que se quería lograr sobre el capital invertido.
- Si (VAN) < 0, muestra el monto que falta para ganar la tasa (K) que se quería.” [26]

$$VAN = -A + \frac{Q_1}{(1 + K_1)} + \frac{Q_2}{(1 + K_1) \cdot (1 + K_2)} + \frac{Q_n}{(1 + K_1) \cdot (1 + K_2) \cdot \dots \cdot (1 + K_n)} \quad EC. 6.1$$

Donde:

VAN : Valor actual neto.

A : Desembolso inicial.

Q_1, Q_2, \dots, Q_n : Flujos netos de caja.

K_1, K_2, \dots, K_n : Tipos de descuento o intereses calculatorios para cada uno de los “n” futuros y sucesivos períodos de tiempo.

La tasa de descuento se calcula tomando en cuenta el riesgo país, la inflación y la tasa de interés pasiva.

$$K = \text{Tasa de interes pasiva} + \% \text{riesgo país} + \% \text{inflación.} \quad \text{EC. 6.2}$$

$$K = 4,53\% + 4,33\% + 3,2\%.$$

$$K = 12,06\%.$$

Por consiguiente utilizando los datos de la Tabla 6.8 y el valor de la tasa de descuento (K) obtenida, se ejecuta la función (VAN) en Excel de donde se obtiene un Valor Actual Neto de:

$$VAN = 26176,73 \text{ dólares.}$$

6.5. TASA INTERNA DE RETORNO (TIR).

La tasa interna de retorno (TIR); refleja la tasa de interés o de rentabilidad que el proyecto arrojará periodo a periodo durante su vida útil. La (TIR) se define como la tasa de descuento que hace que el (VAN) del proyecto sea igual a cero.

- “Si un proyecto tiene una (TIR) > Tasa de interés de oportunidad (K), entonces se puede aceptar.
- Si la (TIR) < Tasa de interés de oportunidad (K), el proyecto se rechaza.
- Si la (TIR) = Tasa de interés de oportunidad (K), hay indiferencia frente al proyecto.” [26]

$$VAN = -A + \frac{Q_1}{(1 + TIR)^1} + \frac{Q_2}{(1 + TIR)^2} + \dots$$

$$\dots \frac{Q_n}{(1 + TIR)^n} = 0.$$

EC. 6.3

Utilizando los Flujos de Caja de la Tabla 6.18 y aplicando la función (TIR) en Excel resulta una Tasa Interna de Retorno de:

$$TIR = 79\%.$$

6.6. PERIODO DE RECUPERACIÓN DEL CAPITAL (PRC). [27]

El plazo o período de recuperación del capital es el tiempo que tarda en recuperarse el desembolso inicial (A).

Si los flujos netos de caja no son constantes, el plazo de recuperación se calcula acumulando los sucesivos flujos de caja hasta que su suma sea igual al desembolso inicial (A). De acuerdo a este criterio las mejores inversiones son aquellas que tienen un plazo de recuperación más corto.

De acuerdo con el Flujo de Caja proyectado de la Tabla 6.8 se puede estimar que la inversión inicial de 8734,47 se recuperará en un tiempo aproximado de:

$$PRC = 1 \text{ año y } 8 \text{ meses.}$$

6.7. RELACIÓN BENEFICIO - COSTO (RBC).

Representa 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 expone a continuación:

$$RBC = \frac{VPNB}{VPNC}. \quad EC.6.4$$

$$RBC = \frac{52063,17}{8734,47}.$$

$$RBC = 5,96.$$

6.8. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

- Se obtuvo un (VAN) de 26176,73 dólares; dicho valor es > 0 e indica que la construcción del proyecto producirá ganancias por encima de la rentabilidad exigida.

- El valor del (TIR) es del 79%, cuyo porcentaje es mayor que la tasa de descuento ($K = 12,06\%$) lo que permite que se acepte el proyecto además de ratificar su viabilidad.
- El Periodo de recuperación del capital (PRC) es de aproximadamente 1 año 8 meses, que es un plazo corto, lo cual satisface las expectativas de la empresa y promueve la automatización de más procesos.
- Se obtuvo una relación beneficio - costo (RBC) de 5,96, lo cual significa que por cada dólar de inversión en la construcción de la máquina cortadora se tienen 5,96 dólares de ganancia.

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

7.1. CONCLUSIONES.

1. Se diseñó y construyó una máquina de corte longitudinal y transversal de láminas de plástico PVC de hasta 250 μm de espesor con un sistema HMI, la cual cumple con los parámetros de diseño y requerimientos operacionales solicitados por la Industria Plástica Brother's.
2. Se recopiló la información necesaria de acuerdo con las exigencias del proceso de corte, lo cual permitió seleccionar la alternativa más adecuada para cada sistema de la máquina en función de algunos parámetros de evaluación como: costo, mantenimiento, funcionalidad, operación, etc.
3. Mediante el PLC THINGET XC3-32RT-E se consiguió el control de la velocidad y posición del servo motor alcanzando una precisión en la medida de corte de ± 1 mm, tolerancia que está dentro de los requerimientos exigidos. También se implementó un sistema HMI, el cual establece una comunicación fácil, rápida y entendible entre el operador y la máquina.
4. El capital asignado para la construcción de la máquina representa una excelente inversión ya que dicha cantidad se recuperará en un tiempo estimado de 1 año 8 meses considerando que con la automatización de un proceso manual se logró realizar la labor de 5 trabajadores.
5. Con la implementación de la máquina se consiguió un incremento en la cantidad de cortes de láminas PVC de 150 cortes/h a 840 cortes/h, lo cual promueve a la industria a continuar con la automatización de nuevos procesos.

7.2. RECOMENDACIONES.

1. Para incrementar la producción de la máquina es necesario reducir el tiempo de corte transversal, por lo tanto se recomienda ampliar el diámetro de las poleas acopladas al motorreductor y al mecanismo tensor.
2. Si se pretende controlar mayor número de parámetros como tensión y alineación automática de la lámina PVC, se recomienda adicionar módulos de entradas y salidas al PLC.
3. Para reducir el trabajo realizado por el operador de la máquina, se recomienda diseñar y construir un sistema automático de montaje de bobinas de plástico PVC.
4. Si en un futuro se requiere que la máquina sea totalmente automática, es necesario implementar un sistema automático de apilado de láminas PVC.
5. Para la implementación de proyectos posteriores es recomendable utilizar equipos de la misma marca debido a la facilidad de comunicación entre dichos dispositivos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- [1] “El policloruro de vinilo (PVC) en artículos rígidos.” [En línea]. Available: <http://www.aapvc.org.ar/admin/archivosNoticias/72triptico-13.pdf>.
- [2] “Compuestos de PVC.” [En línea]. Available: <http://www.efsplasticos.cl/pag/compuesto-de-pvc.php#2>.
- [3] “Film de PVC Cristal flexible, PVC semirrígido, esmerilado.” [En línea]. Available: <http://www.damplast.com.ar/cristales.html>.
- [4] “Introducción a las películas de PVC.” [En línea]. Available: <http://www.empaquesplasticos.com.mx/epmwebp1.htm#PVC>.
- [5] Mott, R. L. (2006). *Diseño de elementos de máquinas* (4 ed.). México: Pearson Educación.
- [6] Budynas, R. G. and Nisbett, J. K. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* (8 ed.). México: McGraw-Hill Interamericana.
- [7] Dassault Systemes SolidWorks Corporation. (2009). *Ayuda de SolidWorks 2010*. Massachusetts, EE.UU.
- [8] “SolidWorks.” [En línea]. Available: <http://www.cadcam.com.ve/SOLIDWORKS/SOLIDWORKS.htm>.
- [9] Gómez, S. (2007). *SolidWorks office professional, Introducción a SolidWorks* (1 ed.). Barcelona, España: Marcombo, S. A.
- [10] Carrobles, M. and Rodríguez, F. (1999). *Manual de mecánica industrial: Neumática e Hidráulica* (Tomo 2). Madrid, España: Cultural, S. A.
- [11] Cembranos, F. J. (2002). *Instalaciones y Mantenimiento Electromecánico de Maquinaria y Conducción de Líneas. Automatismos Eléctricos Neumáticos e Hidráulicos* (3 ed.). Madrid, España: Thompson - Paraninfo, S. A.
- [12] “FESTO Fundamentos de neumática.” [En línea]. Available: <http://www.festo-didactic.com>
- [13] Mandado, E., Marcos, J., Fernández, C., Armesto, J. L. and Pérez, S. (2005). *Autómatas Programables Entorno y Aplicaciones* (1 ed.). Madrid, España: Thompson - Paraninfo, S. A.

- [14] “ACTUADORES.” [En línea]. Available:
<http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/actuadores.pdf>.
- [15] “Servo motores brushless de imán permanente.” [En línea]. Available:
<http://www.eurotechsa.com.ar/ascensores/>
- [16] “Servoaccionamientos (CONTROL DE EJES).”[En línea]. Available:
www.etitudela.com/celula/downloads/servoaccionamientos.pdf.
- [17] “Los servo motores.” [En línea]. Available:
<http://robaq.blogspot.es/i2011-01/>.
- [18] “Engineering reference and application solutions, Complete Engineering Reference.” [En línea].
Available: <http://www.compumotor.com/catalog/catalogA/SectionA.pdf>.
- [19] Porras, A. and Montanero, A. P. (1990). *Autómatas Programables Fundamento, Manejo, Instalación, Prácticas*. Madrid, España: McGraw-Hill /Interamericana de España, S. A.
- [20] “EL ABC DE LA AUTOMATIZACIÓN, HMI.” [En línea]. Available:
<http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/hmi.pdf>.
- [21] “INTRODUCCIÓN A HMI (Interfaz Hombre Máquina).” [En línea].
Available: <http://iaci.unq.edu.ar>
- [22] SKF. (2006). *Catálogo General SKF*. Suecia: Autor.
- [23] “Selección de correas dentadas.” [En línea]. Available:
http://www.afapna.com/aristadigital/archivos_revista/2011_julio_0.pdf
- [24] “ASME A17.1 Safety code for elevators and escalators.” [En línea].
Available:
<https://law.resource.org/pub/us/code/ibr/asme.a17.1.2004.pdf>.
- [25] Enríquez, G. (2004). *Elementos de diseño de las instalaciones eléctricas industriales (2 ed.)*. México, D.F.: LIMUSA, S.A. de C.V.
- [26] Córdoba, M. (2006). *Formulación y evaluación de proyectos*. Bogotá, Colombia: Ecoe Ediciones.
- [27] García, G. (2006). *Guía para elaborar Planes de Negocios*. Ecuador: Gráficas Paola.

ANEXOS.