



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

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

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

**TÍTULO DEL PROYECTO**

**“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA  
AUTOMATIZADO PARA EL EMPALME DE ROLLOS DE FIBRA DE  
VIDRIO Y POLIÉSTER PARA EL PROCESO DE LAMINACIÓN EN LA  
EMPRESA CHOVA DEL ECUADOR S.A.”**

TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO  
MECATRÓNICO

REALIZADO POR:

SALAS MONTAÑO EDGAR ANDRÉS  
VELASCO MANRIQUE NELSON IVÁN

DIRECTOR: ING. ANGELITA SALAZARMSc.

CODIRECTOR: ING. ALEXANDER IBARRAMSc.

SANGOLQUÍ, FEBRERO 2015

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE****CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA****CERTIFICACIÓN DE ELABORACIÓN DE PROYECTO**

El proyecto “Diseño, construcción e implementación de un sistema automatizado para el empalme de rollos de fibra de vidrio y poliéster para el proceso de laminación en la empresa Chova del Ecuador S.A.”, fue realizado en su totalidad por los señores SALAS MONTAÑO EDGAR ANDRÉS y VELASCO MANRIQUE NELSON IVÁN, que ha sido guiado y revisado periódicamente, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecatrónico.

Sangolquí, Febrero del 2015,



ING. ANGELITA SALAZAR MSc

DIRECTOR



ING. ALEXANDER IBARRA MSc.

CODIRECTOR

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE****CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA****DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD****NOSOTROS, SALAS MONTAÑO EDGAR ANDRÉS****VELASCO MANRIQUE NELSON IVÁN****DECLARAMOS QUE:**

El proyecto de grado denominado “Diseño, construcción e implementación de un sistema automatizado para el empalme de rollos de fibra de vidrio y poliéster para el proceso de laminación en la empresa Chova del Ecuador S.A.” ha sido desarrollado mediante investigación de sus tutores y con el debido respeto a los derechos intelectuales de terceros, los mismos que han sido declarados en las citas que constan en los pies de página correspondientes además de incorporarlos en la bibliografía.

En virtud de esta declaración, aclaramos que el trabajo es de nuestra autoría y nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto.

Sangolquí, Febrero del 2015.



SALAS MONTAÑO

EDGAR ANDRÉS



VELASCO MANRIQUE

NELSON IVÁN

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE****CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA****AUTORIZACIÓN**

Nosotros: Edgar Andrés Salas Montaña y Nelson Iván Velasco Manrique

Autorizamos a la UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE la publicación, en la biblioteca virtual de la institución del proyecto de grado titulado: “DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA EL EMPALME DE ROLLOS DE FIBRA DE VIDRIO Y POLIÉSTER PARA EL PROCESO DE LAMINACIÓN EN LA EMPRESA CHOVA DEL ECUADOR S.A.” cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, Febrero del 2015.



SALAS MONTAÑO

EDGAR ANDRÉS



VELASCO MANRIQUE

NELSON IVÁN

## **DEDICATORIA**

### **SALAS MONTAÑO EDGAR ANDRÉS**

Dedico esta tesis de grado a mis padres, Manuel Salas y Luz Montaña por ser mis mayores ejemplos de vida inculcando en mi un sentido de justicia, solidaridad, responsabilidad y fortaleza para enfrentar las adversidades del diario vivir, es para ellos este logro conseguido a base de mucho esfuerzo, puesto que sin su apoyo, amor y paciencia no hubiera sido posible; a mi padrino Edison Betancourt a quien considero como un segundo padre por el cariño, sabiduría y delicadeza que siempre lo caracterizó y que a pesar de ya no contar con su compañía siempre lo recordaré con mucho respeto y admiración.

## **DEDICATORIA**

### **VELASCO MANRIQUE NELSON IVÁN**

Dedico esta tesis a toda mi familia quienes son mi inspiración y mi razón de ser.

Principalmente quiero dedicar el fruto de este gran esfuerzo a una persona muy especial en mi vida, mi abuelito Juan Gabriel Velasco quien siempre estuvo a mi lado y me apoyo. Hoy desde el cielo estoy seguro que me acompaña y me cuida.

## AGRADECIMIENTO

### SALAS MONTAÑO EDGAR ANDRÉS

A mi padre, Manuel, por la constancia, la justicia, la moral y la responsabilidad que siempre se dilucidaba en sus actos y consejos, por enseñarme el valor del esfuerzo que uno dedica a diario al cumplimiento de los sueños y por su infinito apoyo y paciencia ante cualquier inconveniente.

A mi madre, Lucita, por enseñarme el valor del cariño, el amor y la unión familiar, por su sacrificio diario en hacer de mí un hombre de bien y con las herramientas necesarias para luchar contra las adversidades, por siempre creer en mí y apoyarme con sus consejos y regaños.

A mi hermano, Manuel, por ser mi mejor amigo y apoyarme a lo largo de la vida con sus consejos, cariño y solidaridad.

A mis hermanas, Paulina y Lucy, por siempre ser un apoyo incondicional y un ejemplo de fortaleza.

A mi Lupita, por haber creído en mí y apoyarme día a día con paciencia y amor volviéndose un pilar fundamental en mi vida.

A mis amigos, Carlos, Pablo, Santiago y Luís, por haber compartido junto a mí esta etapa de la vida, por el apoyo mutuo que sentimos uno del otro en esas eternas amanecidas de proyectos pero también en esos momentos de inmensa felicidad compartiendo una fina broma y un buen trago.

A mis hermanos PRAD´S, por nunca dejar de creer en mí y por siempre ser un apoyo incondicional con un sentimiento de solidaridad y hermandad que nos ha unido tantos años.

Al Ing. Luís Segura, puesto que sin su apoyo no hubiera sido posible desempeñarme profesionalmente dentro de la Empresa Chova del Ecuador.



## **AGRADECIMIENTO**

### **VELASCO MANRIQUE NELSON IVÁN**

A mi padre Iván Velasco y mi madre María Elena Manrique, por ser un gran apoyo durante todo este proceso de culminación de mis estudios, también a mi hermano Juan Velasco porque ha sido el ejemplo a seguir en mi vida.

Al Ing. Patricio Crespo quien en la empresa fue aparte de un guía, un gran amigo.

A mis tutores Ing. Angelita Salazar e Ing. Alexander Ibarra quienes con sus conocimientos, sus orientaciones, y su paciencia me guiaron en este proceso de tesis.

También quiero agradecer a mis amigos Juan Pablo González, Valeria Ruíz, Andrea Guerra, Carlos Ramírez, Luis Zambrano, Santiago Guano, Luis Fernando Arias, Janina Arias y Juan José Pérez quienes estuvieron presentes en esta etapa de mi vida que el día de hoy estoy culminando.

*GRACIAS A TODOS*

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

1.	INTRODUCCIÓN .....	1
1.1	ANTECEDENTES.....	1
1.1.1	HISTORIA.....	5
1.1.2	MISIÓN.....	11
1.1.3	VISIÓN .....	11
1.1.4	VALORES.....	11
1.1.5	POLÍTICAS DE CALIDAD .....	12
1.2	ANÁLISIS DEL PROBLEMA .....	13
1.3	OBJETIVOS.....	14
1.3.1	GENERAL .....	14
1.3.2	ESPECÍFICOS .....	14
1.4	JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	15
1.5	ALCANCE .....	16
1.5.1	SISTEMA MECÁNICO .....	19
1.5.2	SISTEMA ELÉCTRICO/ELECTRÓNICO.....	20
1.5.3	SISTEMA DE CONTROL .....	21
2.	MARCO TEÓRICO .....	23
2.1	IMPERMEABILIZANTES LAMINARES.....	23
2.2	PROCESO FABRICACIÓN IMPERMEABILIZANTES LAMINARES.....	29
2.2.1	PROCESO DE IMPREGNACIÓN.....	29
2.3	ESTUDIO DE LA MATERIA PRIMA PARA LÁMINAS IMPERMEABILIZANTES ASFÁLTICAS.....	30
2.3.1	FIBRA DE VIDRIO.....	30

2.3.2	POLIÉSTER .....	34
2.4	SISTEMA ESTRUCTURAL Y MECÁNICO .....	35
2.4.1	FUERZAS ESTÁTICAS.....	36
2.4.2	CONDICIONES DE EQUILIBRIO.....	37
2.4.3	SOLIDWORKS FEM.....	38
2.4.4	SISTEMAS DE TRANSMISIÓN.....	41
2.4.4.1	RODAMIENTOS.....	41
2.4.4.2	EJES / FLECHAS .....	46
2.4.4.3	FATIGA.....	50
2.4.4.4	FRENO NEUMÁTICO .....	53
2.4.5	SISTEMA TÉRMICO PARA EMPALME .....	54
2.4.5.1	CONDUCCIÓN.....	56
2.5	SISTEMAS DE CONTROL .....	59
2.5.1	CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC WAGO).....	59
2.5.2	ELECTROVÁLVULAS .....	60
2.5.3	SENSOR DE TEMPERATURA .....	61
2.5.4	SENSOR DE TENSIÓN.....	63
3.	ALTERNATIVAS .....	65
3.1	CONDICIONES Y PARÁMETROS PARA EL DISEÑO.....	65
3.1.1	DESPLIEGUE DE LA FUNCIÓN DE CALIDAD.....	65
3.1.2	REQUISITOS DEL CLIENTE .....	65
3.1.3	ESPECIFICACIONES DE INGENIERÍA.....	66
3.1.4	DISEÑO MORFOLÓGICO.....	68
3.1.5	CORRELACIÓN REQUISITOS DEL CLIENTE – ESPECIFICACIONES DE INGENIERÍA .....	69

3.1.6	ESPECIFICACIONES DE INGENIERÍA Y SU CORRELACIÓN.....	69
3.1.7	OBJETIVO DEL DISEÑO DE INGENIERÍA.....	70
3.2	ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE DISEÑO .....	71
3.2.1	MATRIZ DE DECISIÓN.....	73
3.2.2	SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS.....	80
4.	DISEÑO .....	81
4.1	DISEÑO ESTRUCTURAL.....	81
4.2	DISEÑO DEL SISTEMA TÉRMICO .....	92
4.2.1	DISEÑO DE LA PLACA TÉRMICA.....	93
4.2.2	DISEÑO DE LA MESA DE EMPALME.....	101
4.3	DISEÑO DEL MECANISMO DE PRENSADO .....	103
4.3.1	SISTEMA NEUMÁTICO .....	103
4.3.2	CÁLCULO Y SELECCIÓN DEL CILINDRO NEUMÁTICO .....	105
4.4	DISEÑO DE RODILLOS DE TENSIÓN .....	108
4.5	DISEÑO DEL RODILLO PARA CELDAS DE CARGA.....	116
4.6	SIMULACIÓN DE DEFORMACIÓN, ESFUERZOS Y FACTOR DE SEGURIDAD.....	128
4.7	DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES Y ELEMENTOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS.....	141
4.7.1	CONTROL DE TEMPERATURA.....	141
4.7.1.1	RESISTENCIAS ELÉCTRICAS.....	142
4.7.1.2	SENSOR .....	144
4.7.1.3	CONTROLADOR.....	145
4.7.1.4	CONEXIONAMIENTO Y SELECCIÓN DE PROTECCIONES... ..	148
4.7.2	SISTEMA DE CONTROL DE TENSIÓN.....	153
4.7.2.1	CELDA DE CARGA MAGPWER TS-75-SCM.....	153

4.7.2.2	TRANSDUCTOR DE PRESIÓN MAGPWER IPT.....	157
4.7.2.3	LECTURA DE TENSIÓN DIGITAL Y CONTROL CYGNUS-E ..	159
5.	CONSTRUCCIÓN, IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS DEL SISTEMA.....	161
5.1	SISTEMA MECÁNICO.....	161
5.1.1	ESTRUCTURA.....	161
5.1.2	RODILLOS DE TENSIÓN.....	164
5.1.3	MESA DE EMPALME.....	166
5.1.4	PLACA TÉRMICA.....	169
5.1.5	MONTAJE DE LOS EJES EXPANDIBLES PORTABOBINAS ..	172
5.1.6	ANDÉN PARA OPERADOR.....	173
5.1.7	PLACAS DE SUJECIÓN PARA CELDAS DE CARGA.....	174
5.1.8	VIGA PARA DESLIZAMIENTO DEL SISTEMA POLIPASTO....	176
5.1.9	ENSAMBLAJE DE LA PLACA TÉRMICA Y LOS CILINDROS NEUMÁTICOS .....	178
5.2	SISTEMA ELÉCTRICO Y CONTROL.....	181
5.2.1	CONTROL DE LOS CILINDROS NEUMÁTICOS.....	181
5.2.2	CONTROL DE LOS FRENOS NEUMÁTICOS .....	184
5.2.3	CONTROL DE LAS RESISTENCIAS ELÉCTRICAS.....	186
5.3	PRUEBAS DEL SISTEMA .....	188
5.3.1	TENSIÓN DE LA LÁMINA.....	188
5.3.2	TEMPERATURA Y TIEMPO DE EMPALME .....	189
5.3.2.1	FIBRA DE VIDRIO.....	190
5.3.2.2	POLIÉSTER .....	191
5.4	VALIDACIÓN DE RESULTADOS .....	192
6.	ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO .....	194

6.1	ANÁLISIS FINANCIERO .....	194
6.1.1	COSTOS DE MATERIALES DIRECTOS .....	194
6.1.2	COSTOS DE MANO DE OBRA DIRECTA.....	198
6.1.3	COSTOS INDIRECTOS DE PRODUCCIÓN .....	199
6.1.4	COSTOS TOTALES DEL PROYECTO .....	200
6.2	ANÁLISIS ECONÓMICO .....	201
6.2.1	VALOR ACTUAL NETO .....	206
6.2.2	TASA INTERNA DE RETORNO (TIR) .....	207
6.2.3	FACTOR BENEFICIO – COSTO (B/C) .....	207
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	208
7.1	CONCLUSIONES .....	208
7.2	RECOMENDACIONES .....	210
	BIBLIOGRAFÍA.....	211
	ANEXOS.....	214

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Crecimiento del PIB - Sector Industrial .....	1
Figura 2 Desembobinador Actual.....	3
Figura 3 Proceso de Calentamiento de las Planchas Metálicas .....	3
Figura 4 Empalme de Rollos de Fibra de Vidrio.....	4
Figura 5 Empalme de Rollos de Poliéster .....	4
Figura 6 Grupo Empresarial SRS .....	10
Figura 7 Diagrama de Flujo de Proceso de Laminación. ....	17
Figura 8 Diagrama de Funcionamiento del Proceso de Empalme para Fibra de Vidrio.....	19
Figura 9 Diagrama de Funcionamiento del Proceso de Empalme para Poliéster .....	19
Figura 10 Esquema del Sistema Mecánico.....	19
Figura 11 Esquema del Sistema Eléctrico/Electrónico.....	20
Figura 12 Esquema del Sistema de Control. ....	21
Figura 13 Balsa de Impregnación de la Línea de Producción de la Empresa Chova del Ecuador .....	29
Figura 14 Esquema de Fabricación de la Fibra de Vidrio .....	32
Figura 15 Mat de poliéster .....	34
Figura 16 Tipos de Fuerzas Estáticas.....	37
Figura 17 Herramientas que ofrece Solidwork Simulation .....	41
Figura 18 Parámetros y Características de un Rodamiento .....	44
Figura 19 Nomenclatura Básica de los Diferentes Tipos de Rodamiento .....	46
Figura 20 Ejemplo de Eje o Flecha .....	47
Figura 21 Fractura de un Cigüeñal por Fatiga .....	51
Figura 22 Representación Gráfica de la relación entre Número de Ciclos y Rango de Tensión. ....	52
Figura 23 Freno Neumático de Disco marca Tindland.....	54
Figura 24 Distribución de Temperatura para Conducción en Régimen Permanente a Través de una Pared Plana y Analogía entre Circuitos Térmico y Eléctrico.....	58

Figura 25 Controlador Wago.....	59
Figura 26 Tipos de Electroválvulas .....	60
Figura 27 Termocupla Tipo J.....	62
Figura 28 Celda de Carga MAGPOWR TS.....	63
Figura 29 Equipos con Celdas de Carga .....	64
Figura 30 Diseño Morfológico – Nivel 0 .....	68
Figura 31 Diseño Morfológico Nivel 1 .....	68
Figura 32 Diseño Morfológico Nivel 2 .....	69
Figura 33 QFD del Sistema Empalmador .....	70
Figura 34 Forma de la Estructura del Empalmador .....	82
Figura 35 Dimensiones de la Estructura para el Posicionamiento de las Bobinas de Materia Prima. (a) Vista lateral. (b) Vista frontal.....	84
Figura 36 Diagrama de Distribución de Rodillos para Sistema Control de Tensión .....	85
Figura 37 Layout Empalmador Distribución de Rodillos .....	87
Figura 38 Dimensionamiento para Mesa de Empalme y Andén de Operador. (a) Vista Superior. (b) Vista Frontal.....	88
Figura 39 Dimensiones de la Estructura para Sujeción de Cilindros Neumáticos. (a) Vista lateral. (b) Vista frontal.....	90
Figura 40 Dimensiones de Estructura y Viga IPE para Sistema de Polipasto (vista frontal).....	91
Figura 41 Distribución de Espacios para Mandos de Control .....	92
Figura 42 Ensamble Placa Térmica Móvil.....	99
Figura 43 Sub-ensamble para Sujeción de la Placa Térmica Móvil .....	100
Figura 44 Ensamble de la Mesa de Empalme .....	102
Figura 45 Circuito Neumático .....	104
Figura 46 Sujeción de la Placa Térmica con dos Cilindros Neumáticos .....	105
Figura 47 DCL Rodillo y Lámina. ....	109
Figura 48 Esquemas de Fuerzas de Rodillo General. ....	109
Figura 49 Gráfica de Cortante Rodillo de Entrada/Salida .....	112
Figura 50 Gráfica de Momentos Flectores Rodillo de Entrada/Salida.....	113
Figura 51 DCL del Eje Muerto de Rodillo para Celda de Carga .....	117



Figura 52 Diagrama de Cortantes del Eje Muerto.....	118
Figura 53 Diagrama de Momentos del Eje Muerto.....	119
Figura 54 DCL Carcasa del Rodillo para Celdas de Carga.....	122
Figura 55 Diagrama de Cortantes de la Carcasa del Rodillo para Celdas de Carga .....	124
Figura 56 Diagrama de Momentos de la Carcasa del Rodillo para Celdas de Carga. ....	125
Figura 57 Geometrías Fijas y Cargas Aplicadas a la Estructura por el Sistema de Desbobinado #1 .....	131
Figura 58 Resultado del Análisis de Esfuerzos de la Estructura para el Sistema de Desbobinado #1 .....	132
Figura 59 Resultado del Análisis de Esfuerzos de la Estructura para el Sistema de Desbobinado #2 .....	132
Figura 60 Geometrías Fijas y Cargas Aplicadas a la Estructura por el Ensamble de la Mesa de Empalme.....	134
Figura 61 Resultado del Análisis de Esfuerzos de la Estructura para el Ensambla de la Mesa de Empalme.....	134
Figura 62 Geometrías Fijas y Cargas Aplicadas a la Estructura por el Sistema de Prensado.....	136
Figura 63 Resultado del Análisis de Esfuerzos de la Estructura para el Sistema de Prensado.....	136
Figura 64 Geometrías Fijas y Cargas Aplicadas a la Estructura por el Sistema de Polipasto .....	137
Figura 65 Resultado del Análisis de Esfuerzos de la Estructura para el Sistema de Polipasto .....	138
Figura 66 Geometrías Fijas y Cargas Aplicadas a la Estructura por el Conjunto de Rodillos .....	139
Figura 67 Resultado del Análisis de Esfuerzos de la Estructura por el Conjunto de Rodillos .....	139
Figura 68 Estructura Interna de la Resistencia TH FIREROD .....	142
Figura 69 Estructura Interna de la Resistencia Tubular WATROD. ....	144
Figura 70 Controlador MT-622Ri .....	145

Figura 71 Esquema de Conexión.....	148
Figura 72 Diagrama del Circuito de Control para el Sistema Térmico. ....	149
Figura 73 Diagrama del Circuito de Potencia para el Sistema Térmico.....	151
Figura 74 Celda de Carga Modelo TS de Cople Bipartido .....	154
Figura 75 DCL del Rodillo Loco .....	154
Figura 76 Posicionamiento Correcto e Incorrecto de las Celdas de Carga con respecto al Angulo de Envoltura.....	156
Figura 77 Instalación Típica del acople Rodillo Loco y Celdas de Carga ...	157
Figura 78 Transductor de Presión MAGPOWR ITP .....	158
Figura 79 Esquema Descriptivo del MAGPOWR ITP .....	159
Figura 80 Controlador CYGNUS-E .....	160
Figura 81 Unión de Tubos con Soldadura .....	161
Figura 82 Estructura con Fondo Antioxidante.....	163
Figura 83 Rodillo de 4 plg para las Celdas de Carga.....	164
Figura 84 Rodillo de Tensión de la Lámina de 6 plg.....	165
Figura 85 Resistencias Tipo U Acopladas a la Mesa de Empalme.....	167
Figura 86 Ensamble de la Mesa de Empalme a la Estructura .....	167
Figura 87 Mesa de Empalme.....	167
Figura 88 Placas de 1" y 3 mm de Espesor.....	170
Figura 89 Fibra Cerámica .....	170
Figura 90 Placa Térmica Ensamblada.....	171
Figura 91 Eje Expandible Portabobina.....	172
Figura 92 Andén para Operador .....	174
Figura 93 Celda de Carga Sujeta a la Placa.....	175
Figura 94 Viga IPE 20 Ensamblada a la Estructura .....	177
Figura 95 Ensamble Placa Térmica y Cilindros Neumáticos .....	180
Figura 96 Cilindros Neumáticos.....	181
Figura 97 Caja de Control de los Cilindros Neumáticos.....	182
Figura 98 Montaje de los Componentes de Control para los Cilindros Neumáticos .....	183
Figura 99 Controlador Lógico Programable WAGO.....	183
Figura 100 Transductor de Presión - Corriente.....	185

Figura 101 Freno Neumático .....	185
Figura 102 Caja de Control de las Resistencias Eléctricas.....	186
Figura 103 Conexiones de Potencia de las Resistencias Eléctricas.....	186
Figura 104 Resistencias Tipo U .....	187
Figura 105 Colocación de la Cinta Adhesiva .....	189
Figura 106 Preparación de las Láminas antes del Prensado.....	190
Figura 107 Procedimiento de Empalme para Láminas de Fibra de Vidrio y Poliéster .....	192
Figura 108 Empalme de Láminas de Poliéster .....	192
Figura 109 Empalme de Láminas de Fibra de Vidrio .....	193

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Propiedades Mecánicas de la Fibra de Vidrio.....	16
Tabla 2 Línea de Productos para Láminas Impermeabilizantes	
Asfálticas.....	24
Tabla 3 Tipos de Vidrios .....	30
Tabla 4 Presentaciones Industriales de la Fibra de Vidrio.....	33
Tabla 5 Clasificación General de los Tipos de Rodamientos.....	42
Tabla 6 Rangos de Medida de los Sensores de Temperatura.....	62
Tabla 7 Especificaciones del Sistema Empalmador .....	67
Tabla 8 Características del Sistema .....	73
Tabla 9 Funciones del Sistema.....	73
Tabla 10 Alternativas para el Encendido de la Placa Térmica.....	74
Tabla 11 Análisis de Alternativas para el Encendido de la Placa	
Térmica.....	74
Tabla 12 Alternativas para la Colocación de Rollo en el Eje Expandible .....	75
Tabla 13 Análisis de Alternativas para la Colocación de Rollo en el Eje	
Expandible .....	75
Tabla 14 Alternativas para el Posicionamiento de Rollos en la	
Estructura.....	75
Tabla 15 Análisis de Alternativas para el Posicionamiento de Rollos en	
la Estructura.....	76
Tabla 16 Alternativas para Tensar la Lámina del Nuevo Rollo a través	
de Rodillos .....	77
Tabla 17 Análisis de Alternativas para Tensar la Lámina del Nuevo Rollo	
a través de Rodillos.....	77
Tabla 18 Alternativas para Colocar Adhesivo en Materiales a Empalmar ....	77
Tabla 19 Análisis de Alternativas para Colocar Adhesivo en Materiales	
a Empalmar.....	78
Tabla 20 Alternativas para el Control de Temperatura .....	78
Tabla 21 Análisis de Alternativas para el Control de Temperatura .....	79

Tabla 22 Alternativas para el Accionamiento de los Cilindros Neumáticos .....	79
Tabla 23 Análisis de Alternativas para el Accionamiento de los Cilindros Neumáticos .....	80
Tabla 24 Decisión de Alternativas de las Funciones del Sistema .....	80
Tabla 25 Datos obtenidos en la Medición de Parámetros del Procedimiento de Empalme Actual. ....	94
Tabla 26 Propiedades Mecánicas de los Materiales para la Fabricación de la Placa Térmica Móvil .....	95
Tabla 27 Propiedades Mecánicas de Aceros.....	96
Tabla 28 Tensión Máxima de Rotura de los Diferentes Tipos de Materia Prima.....	108
Tabla 29 Dimensiones de Tubería.....	114
Tabla 30 Selección de Material para Viga IPE.....	140
Tabla 31 Tabla Comparativa de Materiales para la Estructura Compacta del Empalmador.....	141
Tabla 32 Descripción de los Tipos de Termocuplas .....	145
Tabla 33 Parámetros para Configuración Control de Temperatura MT- 622Ri.....	147
Tabla 34 Lista de Materiales utilizados en la Construcción de la Estructura.....	163
Tabla 35 Lista de Herramientas utilizadas en la Construcción de la Estructura.....	164
Tabla 36 Lista de Materiales utilizados en la Construcción e Implementación de los Rodillos de Tensión.....	165
Tabla 37 Lista de Herramientas utilizadas en la Construcción e Implementación de los Rodillos de Tensión.....	166
Tabla 38 Lista de Materiales utilizados en la Construcción e Implementación de la Mesa de Empalme .....	168
Tabla 39 Lista de Herramientas utilizadas en la Construcción e Implementación de la Mesa de Empalme .....	169

Tabla 40 Lista de Materiales utilizados en la Construcción e Implementación de la Placa Térmica .....	171
Tabla 41 Lista de Herramientas utilizadas en la Construcción e Implementación de la Placa Térmica .....	171
Tabla 42 Lista de Materiales utilizados en el Montaje de los Ejes Expandibles.....	173
Tabla 43 Lista de Herramientas utilizados en el Montaje de los Ejes Expandibles.....	173
Tabla 44 Lista de Materiales utilizados en la Construcción e Implementación de las Placas de Sujeción para Celdas de Carga .....	176
Tabla 45 Lista de Herramientas utilizadas en la Construcción e Implementación de las Placas de Sujeción para Celdas de Carga .....	176
Tabla 46 Lista de Materiales utilizados en la Construcción e Implementación de la Viga para Deslizamiento del Sistema Polipasto .....	178
Tabla 47 Lista de Herramientas utilizadas en la Construcción e Implementación de la Viga para Deslizamiento del Sistema Polipasto .....	178
Tabla 48 Lista de Materiales utilizados en Ensamble de la Placa Térmica y Cilindros Neumáticos.....	180
Tabla 49 Lista de Herramientas utilizadas en Ensamble de la Placa Térmica y Cilindros Neumáticos.....	181
Tabla 50 Lista de Materiales Neumáticos para el Control de Cilindros Neumáticos .....	182
Tabla 51 Lista de Materiales Eléctricos y Electrónicos para el Control de Cilindros Neumáticos .....	183
Tabla 52 Lista de Herramientas utilizadas en la Conexión del Control de Cilindros Neumáticos .....	184
Tabla 53 Lista de Materiales Neumáticos para el Control de Frenos Neumáticos .....	184

Tabla 54 Lista de Materiales Eléctricos y Electrónicos para el Control de Frenos Neumáticos .....	185
Tabla 55 Lista de Herramientas utilizadas en la Conexión del Control de Frenos Neumáticos .....	186
Tabla 56 Lista de Materiales Eléctricos y Electrónicos para el Control de las Resistencias Eléctricas.....	187
Tabla 57 Lista de Herramientas utilizadas en la Conexión del Control de las Resistencias Eléctricas.....	188
Tabla 58 Pruebas Realizadas del Control de Tensión en MODO MANUAL.....	188
Tabla 59 Pruebas Realizadas del Control de Tensión en MODO AUTOMÁTICO .....	189
Tabla 60 Pruebas Realizadas con Fibra de Vidrio .....	190
Tabla 61 Pruebas Realizadas con Poliéster .....	191
Tabla 62 Costos Totales de los Grupos de Materiales Directos .....	195
Tabla 63 Costos de Materiales para el Sistema de Control de Tensión .....	195
Tabla 64 Costos de Materiales para el Sistema de Prensado .....	196
Tabla 65 Costos de Materiales para el Sistema de Polipasto.....	197
Tabla 66 Costos de Materiales para el Sistema Térmico.....	197
Tabla 67 Costos de Materiales para la Estructura Metálica.....	198
Tabla 68 Costos de Mano de Obra directa .....	198
Tabla 69 Costos de Mano de Obra Indirecta .....	200
Tabla 70 Costos Totales del Proyecto .....	201
Tabla 71 Detalle de la Inversión Realizada.....	201
Tabla 72 Producción Promedio por Producto .....	202
Tabla 73 Costos de Mano de Obra Directa del Proceso de Empalme sin Proyecto .....	203
Tabla 74 Costos de Mano de Obra Directa del Proceso de Empalme con Proyecto .....	204
Tabla 75 Detalle del Beneficio a Obtener .....	205
Tabla 76 Flujo de Caja Proyectado a 10 años .....	206
Tabla 77 Resultados de los Índices Económicos-Financieros .....	207

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Diagrama de Flujo de la Construcción de la Estructura.....	162
Gráfico 2 Diagrama de Flujo de la Construcción e Implementación de los Rodillos de Tensión .....	165
Gráfico 3 Diagrama de Flujo de la Construcción e Implementación de la Mesa de Empalme .....	168
Gráfico 4 Diagrama de Flujo de la Construcción de la Placa Térmica.....	170
Gráfico 5 Diagrama de Flujo del Montaje de los Ejes Expandibles.....	172
Gráfico 6 Diagrama de Flujo de la Construcción e Implementación del Andén para Operador .....	174
Gráfico 7 Diagrama de Flujo de la Construcción e Implementación de las Placas de Sujeción de las Celdas de Carga.....	175
Gráfico 8 Diagrama de Flujo de la Construcción e Implementación de la Viga para Deslizamiento del Sistema Polipasto.....	177
Gráfico 9 Diagrama de Flujo del Ensamblaje de la Placa Térmica y los Cilindros Neumáticos .....	179



## **LISTA DE ANEXOS**

- A. PLANOS DE CONSTRUCCIÓN Y ENSAMBLE
- B. PLANOS DE CONTROL Y POTENCIA
- C. MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

## RESUMEN

El siguiente proyecto denominado “Diseño, construcción e implementación de un sistema automatizado para el empalme de rollos de fibra de vidrio y poliéster para el proceso de laminación en la empresa Chova del Ecuador S.A.” desarrolla el diseño mecánico y diseño electrónico de un sistema que permite colocar dos rollos de fibra de vidrio o poliéster en la estructura, realizar el control de tensión en la lámina para evitar fisuras, y principalmente el empalme de los rollos por medio de una placa térmica. La empresa auspiciante vio la necesidad de crear una nueva línea de producción de láminas asfálticas y poder ofertar más productos en el mercado. La necesidad de un sistema automatizado de empalme se basa en el riesgo que los operadores corren actualmente en este proceso al trabajar con altas temperaturas, y realizar el levantamiento de las bobinas de forma manual.

Se aplicó el método de QFD (Desarrollo de la Función de Calidad) para satisfacer lo que el cliente solicita, al identificar las necesidades y transformarlas en requerimientos técnicos para obtener las especificaciones del sistema de empalme. Se analizaron varias alternativas de construcción de las partes o elementos principales del sistema para de esta manera escoger la más viable. Para comprobar la efectividad se realizaron pruebas de funcionamiento, con la inspección de los ingenieros de la empresa auspiciante, tomando datos de tiempo, temperatura de empalme, tensión de la lámina; se obtuvieron resultados satisfactorios. También se realizó un análisis costo-beneficio del proyecto, teniendo como resultado un proyecto factible.

## ABSTRACT

The following project "Design, construction and implementation of an automated system for splicing rolls of fiberglass and polyester lamination process in the company Chova of Ecuador SA" develops mechanical design and electronic design of a system that allows placing two rolls of fiberglass or polyester structure, performing control tension in the film to prevent cracks, and especially splicing rolls through a heating pad. The sponsoring company saw the need to create a new line of production of asphalt sheets and able to offer more products in the market. The need for an automated splicing system is based on the risk that operators currently running in this process when working with high temperatures, and to survey the coils manually.

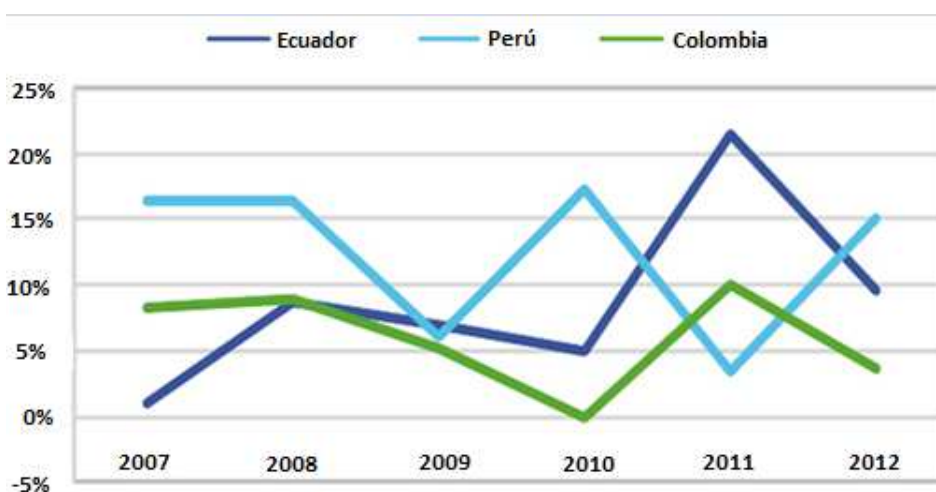
QFD method (Development of Quality Function) was applied to satisfy what the customer requested, to identify needs and transform them into technical requirements for the system specifications splicing. Several alternative construction of the main parts or elements of the system to thereby select the most feasible were analyzed. To test the effectiveness function tests were performed, with inspection of the engineers of the sponsoring company, taking time data, junction temperature, voltage of the sheet; satisfactory results are obtained. A cost-benefit analysis of the project was also performed, resulting in a feasible project.

## CAPÍTULO 1

### 1. INTRODUCCIÓN

#### 1.1 ANTECEDENTES

Chova del Ecuador es una empresa que produce y comercializa productos asfálticos para la impermeabilización, que se ha posicionado como un proceso en la construcción de edificios. Se han introducido nuevos productos, por ejemplo, la emulsión asfáltica que consiste en diluir el asfalto en agua, producto con el que la empresa entró en el mercado de vialidad. El uso del asfalto, como material para la construcción de pavimentos y para la impermeabilización de edificios y otras estructuras, estuvo ampliamente difundido en los países desarrollados durante la década de los 60 (Ver Figura 1).



**Figura 1 Crecimiento del PIB - Sector Industrial**

Fuente: (Nevada, 2013)

En el año 2012, Ecuador registró un crecimiento del 5,4% en ésta área, según cifras del Banco Central del Ecuador (BCE). Las industrias relacionadas a la construcción que se destacan actualmente en el país corresponden a cemento, metal, plásticos e impermeabilizantes.

Entre los años 2008 a 2012, la empresa Chova del Ecuador ha experimentado un importante crecimiento, superando sus metas de ventas en un 40% durante ese período, gracias al giro que ha dado el sector de la construcción, buscando no sólo productos y sistemas impermeabilizantes, sino una visión ecológica al momento de construir.

Esta moderna tecnología incorporaba el uso de polímeros en el asfalto para darle mayor durabilidad. Chova del Ecuador ha incorporado productos como poliuretanos, acrílicos, plásticos, etc., creando una nueva marca: "IMPTEK", que abarca productos de nueva generación sin abandonar la elaboración de los productos originales con la marca CHOVA basados en el asfalto.(<http://www.imptek.com/>)

Para la fabricación de impermeabilizantes laminares, uno de sus componentes más importantes son los rollos de poliéster y de fibra de vidrio (dependiendo del tipo de producto final). Actualmente cuando finaliza el desembobinado de un rollo de dichos materiales, se procede al empalme con uno nuevo. Para este procedimiento es necesario la presencia de 3 a 5 personas las mismas que de manera manual realizan el trabajo, primero traer el nuevo rollo desde el lugar de almacenamiento de materia prima, segundo posicionar el rollo en el desbobinador (Ver Figura 2), tercero jalar parte de éste para finalmente empalmarlo dependiendo del material, de la siguiente forma:



**Figura 2 Desembobinador Actual**

- **Fibra de Vidrio:** el proceso de empalme de fibra de vidrio comienza con el calentamiento de la mesa, que dura alrededor de 45 minutos, en este tiempo también se lleva a cabo el calentamiento de la plancha metálica por medio de un soplete en un tiempo de 30 minutos (Ver Figura 3).



**Figura 3 Proceso de Calentamiento de las Planchas Metálicas**

Cuando se tiene estos elementos en la temperatura adecuada, se procede al empalme de los rollos, mediante el uso de goma blanca que se fija con el calor producido por la mesa y la plancha metálica, esto tiene una duración aproximada de 3 minutos en los que gracias

al compensador del que consta la máquina, no afecta al normal transcurso del proceso (Ver Figura 4).



**Figura 4 Empalme de Rollos de Fibra de Vidrio**

- **Poliéster:** el proceso de empalme de poliéster se realiza mediante el cosido con piola de los dos extremos de cada uno de los rollos, con el uso de una “cosedora manual para sacos” (Ver Figura 5).



**Figura 5 Empalme de Rollos de Poliéster**

### **1.1.1 HISTORIA**

#### **1979**

Se funda la empresa Chova del Ecuador S.A., primer gerente de la empresa, el Ing. Vicente Alvear hasta 1980 luego de lo cual se hace cargo de la empresa el Ing. Marco Peñaherrera como Gerente General.

#### **1981**

Se constituye la compañía Prodasfalt, que se encargaría de la comercialización e instalación de los productos que fabricaba la empresa.

Se incorpora a la empresa el español Sr. Antonio Sanz, para la construcción y puesta en marcha de la planta industria.

#### **1982**

Se inicia la producción de láminas asfálticas tipo Impernylon. Imperglass, teja Shingle, Asfalum, Pegamentos e imprimantes de base asfáltica con solventes.

#### **1983**

Hasta 1985. Durante estos años, la empresa encuentra una gran resistencia del mercado hacia el consumo de sus productos debido por un lado a la falta de cultura de impermeabilización asfáltica en el medio y, por otro lado al alto precio de estos productos con relación a los sistemas utilizados en ese tiempo. La crisis se acentúa con problemas administrativos internos y la falta de calidad de los gránulos minerales utilizados (Materia Prima), en los productos Imperglass y Teja Shingle. Esta crisis obliga a acudir al asesoramiento técnico estadounidense del programa CISE. Llega el Sr. Helge Johnson, quien contribuye a la solución de los problemas de calidad suscitados con el producto.

#### **1985**

Se incorporan a los productos, gránulos minerales pigmentados de la



compañía 3M – USA. Se rehabilita el laboratorio de control de calidad de la planta industrial.

### **1986**

Se incorpora como Gerente General y Accionista de la Empresa el Ing. Ramiro Sotomayor, desarrollando una nueva filosofía de la empresa basada en lograr el liderazgo total en el mercado de la impermeabilización y la satisfacción total de los clientes.

Se reestructura administrativamente la empresa. Se rediseña el logotipo de la empresa. Se realiza un relanzamiento de los productos al mercado. La empresa pasa a ser de capitales ecuatorianos.

### **1989**

Apertura del almacén y oficina de ventas en la región 2, Guayaquil. Traslado del personal administrativo de la empresa de las oficinas de Quito a las ya adecuadas oficinas de la Planta Industrial.

Se diseña la planta de emulsiones Asfálticas con el asesoramiento técnico del Sr. Proctor, del programa CISE.

### **1991**

Se crean las empresas Florexot y Eximsot, como parte de la diversificación de los negocios de la empresa. Estas empresas incursionan en el mercado del cultivo y comercialización de flores tropicales y, en la comercialización de productos para la construcción respectivamente.

Se adquiere las máquinas Rollformers, para la fabricación de canales y bajantes metálicos de aguas lluvia. Se supera el 1 millón de kg. en ventas.

### **1992**

Se realiza la construcción y ampliación de las Naves Industriales de la

planta. Se realiza la apertura de la oficina comercial de Chova en Colombia. Se crea la empresa Chovacol.

### **1993**

Se adquiere la casa de la Floresta donde funcionara las oficinas y de ventas de Prodasfalt.

### **1994**

Se crea la división de manufactura Sealtek, dedicada al desarrollo y comercialización de Revestimientos Líquidos para la construcción. Se diseña y construye la planta de Producción de Revestimientos Líquidos para Sealtek.

### **1995**

Se adquiere y pone en marcha la planta de producción de Emulsiones Asfálticas para servir al mercado de Construcción Vial. Se adquiere y adecuan las oficinas en Guayaquil. Se abre las oficinas administrativas y de Ventas de las Empresas Eximsot en Quito, para distribución de productos.

### **1996**

Se exporta continuamente productos a Centroamérica. Y se Alcanza una producción anual cercana a los 2,9 millones de kg.

### **1999**

Se invierte en tecnología. Se adquieren de España, entre otros equipos los tanques mezcladores para preparación de mástico que permitirán ampliar la capacidad instalada de producción de Láminas Asfálticas.

### **2000**

Se instalan los equipos adquiridos en España, y se alcanza una producción diaria del 50% adicional. Se trabaja en la implementación del Sistema de

Calidad y se obtiene el sello Calidad ISO/QS-9000 como estrategia para garantizar la calidad de las operaciones y productos de la empresa.

### **2001**

Se Abren los almacenes T.P.C., Tecnologías y Productos para la Construcción para complementar a la red de distribuidores a nivel nacional. Se consolidan las exportaciones atendiendo a Panamá un contenedor por mes. En este año se alcanzan los 5 millones de kg., procesados en las líneas de producción.

### **2002**

Se desarrolla las primeras formulaciones del producto Alumband, un producto para el mercado ferretero y de reparación. Se realizan las primeras ventas de emulsión asfáltica a la Dirección de Aviación Civil, material utilizado en mantenimientos de aeropuertos.

### **2003**

Como estrategia empresarial se decide crear A.S.T.S., con la idea de que sea la empresa que prestara servicios administrativos para las empresas del grupo empresarial, concentrando funciones administrativas, contables, sistemas y de recursos humanos.

Se presenta una crisis en el mercado ecuatoriano por lo que no se alcanzan las metas presupuestadas en ventas. En este año se obtiene la fórmula definitiva de producto Alumband, se registran los primeros 30 mil dólares de ventas en este año.

### **2004**

Se invierte en la línea de producción de membranas asfálticas, este proyecto contempla la automatización y ampliación de la capacidad instalada, se modernizan y reemplazan varios equipos de operación.

**2005**

Se amplía las bodegas del centro regional de distribución en Guayaquil, este proyecto incluye el mejoramiento de las oficinas y construcción de una sala de convenciones y capacitación a instaladores. Se realiza la inversión en un terreno de 3 hectáreas en el sector del INGA, previendo el traslado de las operaciones de la planta industrial de producción de membranas asfálticas.

**2006**

Con las nuevas tecnologías de fabricación se alcanzan los 5 millones de Dólares en ventas, y 7 millones de kg, procesados. Se consolidan las ventas a Colombia y se logra concretar acuerdos con un distribuidor – instalador en Medellín.

**2007**

Para mantener actualizado el sistema de gestión de la calidad con estándares internacionales se hace una reingeniería del sistema y se logra recertificar bajo norma ISO/TS-16949, norma para proveedores de autopartes, debido a que la empresa entrega membranas insonorizantes para vehículos a las ensambladoras del país.

Luego de un estudio e investigación de productos disponibles, se invierte en un sistema E.R.P., software para la Planificación de los Recursos Empresariales, software mexicano denominado Dynaware.

**2008**

Se invierte en una nueva planta de emulsiones Asfálticas, se adquiere los equipos por separado, y se instalan los equipos cerca del área de calderos, este equipo inicia su operación en Enero 2009. Luego de un proceso de evaluación de la imagen institucional se desarrolla la nueva marca “Imptek”. Se decide la compra de la planta de fabricación de mezcla en frío.

## 2009

Se realizan los estudios de prefactibilidad y se elaboran los diseños de la nueva planta en el sector del INGA. La construcción inicia a finales del año. En este año se realizan importantes inversiones como la renovación del caldero de aceite térmico, y la adquisición de un molino trigonal, equipo fundamental para obtener una buena calidad en la modificación del asfalto.

## 2010

Como parte del cumplimiento de leyes y regulaciones medioambientales se obtiene la licencia ambiental de la planta Cashapamba. Se desarrolla el sistema de cubiertas ajardinadas y se promociona fuertemente y se le reconoce a la empresa como pionera de este sistema constructivo. En este año, y luego de 2 años de trabajo se imprime el manual de Impermeabilización.

## 2011

En este año se inician los primeros trabajos en la planta de El INGA, se construye el anillo vial y la planta de tratamiento de aguas; se ejecutó el traslado de la planta de Emulsiones, cuyo proyecto contempló la construcción de tanques de almacenamiento de asfalto y de Emulsiones. (<http://www.imptek.com/index.php/historia>)



**Figura 6 Grupo Empresarial SRS**

Fuente:

([http://www.uasb.edu.ec/UserFiles/381/File/CALIDAD\\_CHOVA\(1\).pdf](http://www.uasb.edu.ec/UserFiles/381/File/CALIDAD_CHOVA(1).pdf), s.f.)

### **1.1.2 MISIÓN**

Ser los mejores.

### **1.1.3 VISIÓN**

Ser una empresa líder en la región de la costa del pacifico sur, en el desarrollo, la fabricación y comercialización de productos y sistemas innovadores para la construcción.

### **1.1.4 VALORES**

La empresa Chova del Ecuador establece valores y principios que deben ser respetados por todos los empleados que pertenecen a la institución.

En todas las actividades que se realizan, es de mucha importancia y de manera primordial la honradez de todos sus empleados, que se verá reflejado con la transparencia en el campo laboral.

En los puestos de trabajo donde se desempeñan se busca que estén limpios y ordenados, de tal manera que puedan desenvolverse de la mejor manera para el crecimiento de la empresa.

Para esta empresa el personal humano es el recurso más importante, de tal manera que no se hace ninguna discriminación de razas, religión, origen, cultura, nacionalidad, etc. a ningún miembro que integren la el grupo empresarial.

La empresa busca personas capaces de cumplir valores como la honradez, creatividad, trabajo en equipo, respeto, trabajadores, etc., satisfacer al cliente con sus productos y con la mejor calidad, ser justos y

tratar con las mismas oportunidades a todos los proveedores, ser buenos vecinos con la comunidad y con el medio ambiente.  
(<http://www.imptek.com/index.php/quienes-somos>)

### **1.1.5 POLÍTICAS DE CALIDAD**

Chova del Ecuador busca cumplir con las expectativas de los clientes:

- Entregando productos fabricados bajo especificaciones, para atender al sector de la construcción, vial y automotriz.
- Comprometiéndose con el mejoramiento continuo
- Ejerciendo prácticas éticas de comercio.

Para satisfacer a los clientes la empresa busca cumplir con algunos objetivos de calidad:

1. Ser identificado como una empresa que innova y mejora continuamente sus procesos y sus productos.
2. Mantener vigente un Sistema de Calidad acorde a normativas internacionales.
3. Generar un ambiente de trabajo que fomente la creatividad, el trabajo en equipo, la toma de decisiones que implican riesgo y una atmósfera caracterizada por un ánimo pro-activo.
4. Lograr una disminución constante de los reclamos de los clientes.
5. Lograr un crecimiento sostenido de las ventas y una rentabilidad que satisfaga las expectativas de los accionistas.
6. Incrementar las ventas de Exportación.
7. Mantener el liderazgo en la participación del mercado de la impermeabilización en el Ecuador.(Manual de Inducción Chova del Ecuador, 2011)

## 1.2 ANÁLISIS DEL PROBLEMA

Analizando el proceso de fabricación de impermeabilizantes laminares, se ha determinado que el procedimiento de desembobinado y empalme de rollos de poliéster se realiza aproximadamente cada hora, y de rollos de fibra de vidrio alrededor de una hora y treinta minutos, que en un día de producción normal sería alrededor de 6 a 8 veces.

El problema principal es que al ser un procedimiento repetitivo y manual, se requiere de personal que debe dejar de realizar sus funciones para cumplirlo. Son 4 obreros los que realizan este procedimiento, quienes se dedican a actividades diferentes como son:

- Corte de impermeabilizante “Alumband”
- Envasado de impermeabilizantes líquidos.
- Funciones de bodega.

Esto influye tanto en tiempos de producción como en optimización de recursos. Se ha calculado un tiempo promedio en el cual se realiza el empalme; para la fibra de vidrio correspondiente a 48 minutos, ya que previamente debe calentarse la mesa y la plancha metálica que tienen un tiempo de duración de 45 minutos, además el empalme de los extremos de cada rollo dura alrededor de 3 minutos. Al considerar un proceso repetitivo de alrededor de 6 veces por día, se obtiene una pérdida de 5 horas de producción y trabajo en las actividades anteriormente descritas.



## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 GENERAL**

Diseñar, construir e implementar un sistema automatizado para el empalme de rollos de fibra de vidrio y poliéster para el proceso de laminación en la Empresa Chova del Ecuador S.A.

### **1.3.2 ESPECÍFICOS**

- Determinar las alternativas óptimas para empalmar los rollos de fibra de vidrio y poliéster que emplea la empresa Chova S.A. para elaborar sus productos.
- Diseñar la estructura y el sistema mecánico que agrupará los diferentes componentes para el sistema de empalme de rollos para proceder a la manufactura.
- Diseñar de un sistema de control eficaz el mismo que permita un correcto funcionamiento de la máquina, así como también garantice la seguridad del operario.
- Construir e implementar el sistema seleccionado y realizar pruebas para su correcto funcionamiento.
- Realizar pruebas físicas y de operación de los elementos a utilizar en el sistema como: placas de fijación térmica, cilindros hidráulicos, electroválvulas, sensores de temperatura y de nivel, etc.
- Realizar un análisis económico y financiero del proyecto.

## 1.4 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

Este proyecto propone implementar un sistema de empalme automático en la línea de producción de la Empresa Chova SA, el cual beneficiará a reducir los tiempos de producción y optimización del personal.

Al ser un proyecto de automatización reducirá en un 75% la intervención de la mano humana considerando que será necesaria la presencia de un operador quien active los accionamientos respectivos y verifique el correcto funcionamiento de la máquina en general. Esta persona será capacitada para realizar el manejo adecuado de todo el proceso sin ningún tipo de ayuda externa, y podrá realizar otra actividad sin estar al tanto del desembobinado del rollo de materia prima puesto que la máquina constará de alarmas de alerta que pondrán al tanto de cualquier eventualidad al operador.

La máquina también influirá en aspectos como:

- *Aumento de la calidad del producto final.*- en cuanto a la calidad del producto, se puede considerar que mediante la implementación del sistema se controlará con mayor exactitud parámetros que influyen en el proceso de empalme, como:
  - ✓ El área de unión: la cual está determinada mediante el ancho de la lámina de materia prima por una distancia de empalme de:
    - 30 cm para fibra de vidrio
    - 10 cm para poliéster
  - ✓ La temperatura de las placas, considerando propiedades del material (Ver Tabla 1).
  - ✓ Tiempo de aplicación de calor: el tiempo necesario para asegurar la correcta unión de las láminas de fibra de vidrio sin producir daños en el material que afecten el proceso de laminación.

**Tabla 1 Propiedades Mecánicas de la Fibra de Vidrio**

<b>Tipo de Fibra</b>	<b>Tensión de rotura (MPa)</b>	<b>Esfuerzo de Compresión (MPa)</b>	<b>Densidad (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Dilatación térmica <math>\mu\text{m}/(\text{m}^\circ\text{C})</math></b>	<b>T de ablandamiento (<math>^\circ\text{C}</math>)</b>
<b>Vidrio clase E</b>	3445	1080	2.58	5.4	846
<b>Vidrio clase S-2</b>	4890	1600	2.46	2.9	1056

Fuente: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/12/fibra-de-vidrio.html>

- *Seguridad industrial.*- al no existir mayor intervención del personal en el proceso, se disminuye el riesgo de accidentes. Puesto que podrían estar en posible contacto con materiales pesados o que se encuentren sometidos a elevadas temperaturas.

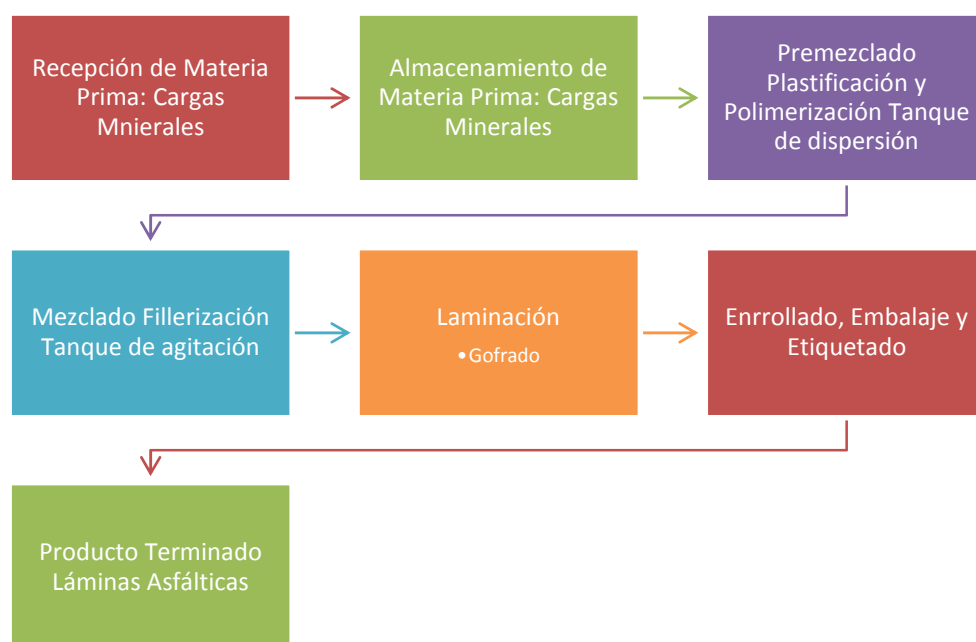
Por las razones expuestas se considera este proyecto altamente rentable para la empresa, dado que optimiza un proceso repetitivo que se realiza a diario tomando en cuenta calidad, eficiencia y seguridad, conceptos que contribuyen de una forma u otra en el ámbito económico de dicha empresa.

## 1.5 ALCANCE

Este proyecto además de implementar un nuevo sistema que mejora considerablemente aspectos de seguridad industrial y optimización de

recursos, tiene como objetivo innovar uno de los distintos mecanismos de la empresa basándose en la implementación de accionamientos neumáticos para la automatización del mismo para el respectivo control del proceso de empalme.

El proyecto tiene como idea preliminar automatizar el proceso de empalme de los dos tipos de materia prima utilizados para la elaboración de impermeabilizantes laminares (Ver Figura 7).



**Figura 7 Diagrama de Flujo de Proceso de Laminación.**

El mecanismo utilizará un sistema de distribución de aire a presión para el diseño de un circuito de potencia y control en el que intervendrán actuadores como cilindros y electroválvulas, los mismos que mediante el diseño e implementación de una estructura y sistemas mecánicos adecuados puedan conformar una máquina que tiene como finalidad llevar a cabo el proceso en mención.

**Esquematización:**

La máquina constará de:

1. Estructura metálica.- tendrá la función de soporte de todos los elementos que conformarán el conjunto.
2. Polipasto.- se usará para levantar los rollos de fibra de vidrio o poliéster y colocarlos sobre el desembobinador.
3. Rodillos.- permitirán direccionar la lámina a través de la máquina. Al mismo tiempo ayudarán a tensarla para su correcto desplazamiento.
4. Freno Neumático.- se acoplarán a los ejes que van con los rollos, tienen la función de controlar la velocidad de desembobinado.
5. Cilindros neumáticos.- son los que generarán el movimiento de los diferentes dispositivos que realizarán la unión de las láminas de materia prima.
6. Placas térmicas.- consolidar la unión de los rollos de fibra de vidrio mediante la transferencia de calor.
7. Cosedora manual de sacos.- tiene como función realizar la unión de las láminas de poliéster.
8. Electroválvulas.- tienen la función de controlar el accionamiento de los cilindros.
9. Fines de carrera.- son los que restringirán el desplazamiento de los cilindros dependiendo del proceso.
10. Sensor de temperatura.- mediante éste se implementará el control de temperatura de las placas térmicas.
11. Sensor de presión.- será el encargado de dar la alerta de fin de desembobinado del rollo de materia prima.
12. Celda de Carga.- permitirá realizar el control de tensión de la lámina en los rodillos.

**Funcionamiento:**

El funcionamiento de la máquina consta de dos instancias las cuales dependen del tipo de materia prima que se va a utilizar, debido a que cada una necesita un diferente proceso de unión (Ver Figura 8 y Figura 9).

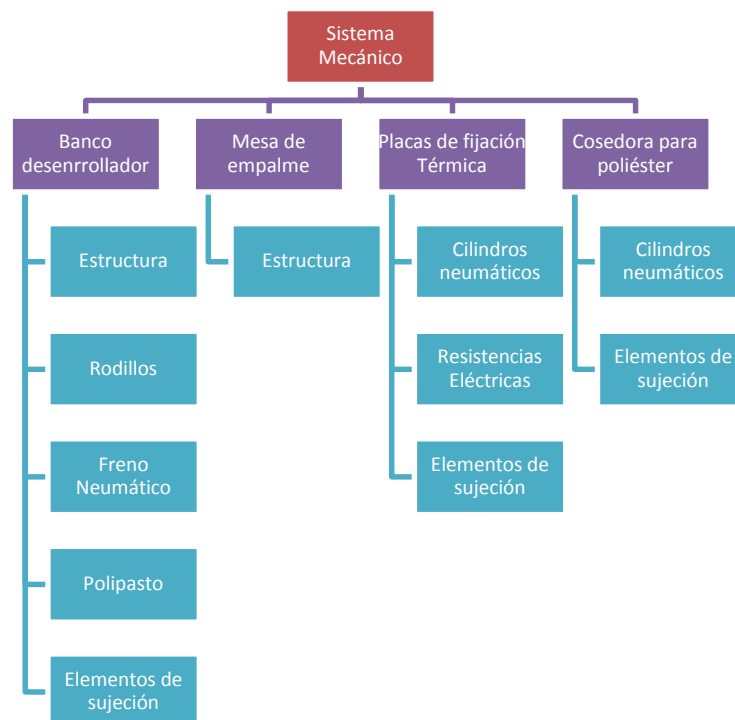


**Figura 8 Diagrama de Funcionamiento del Proceso de Empalme para Fibra de Vidrio**



**Figura 9 Diagrama de Funcionamiento del Proceso de Empalme para Poliéster**

**1.5.1 SISTEMA MECÁNICO**

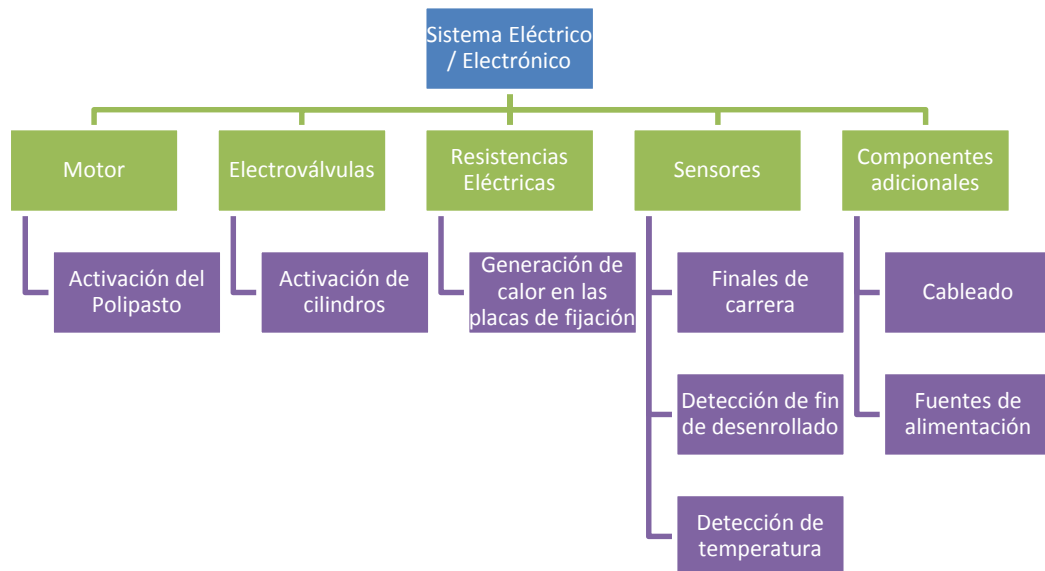


**Figura 10 Esquema del Sistema Mecánico.**

El Sistema Mecánico estará compuesto por un sistema de polipasto que posicionará los rollos de materia prima a manera de almacenamiento en el banco desenrollador el cual cuenta con una estructura metálica suficiente para sujetar dos rollos a la vez y de esta manera facilitar el empalme entre los extremos de los mismos. También contará con una serie de cilindros neumáticos que, a su accionamiento, realizarán el movimiento tanto de las placas de fijación térmica como de la cosedora (dependiendo del tipo de materia prima utilizada).

Las placas de fijación térmica serán las que consoliden el empalme de los extremos de los rollos de fibra de vidrio, en la que previamente se realizó la dosificación de líquido adhesivo. Estos procedimientos se llevarán a cabo mediante el accionamiento de cilindros neumáticos acoplados a los dispositivos mencionados. De igual manera la cosedora de poliéster será activada mediante el mismo método.

### 1.5.2 SISTEMA ELÉCTRICO/ELECTRÓNICO



**Figura 11 Esquema del Sistema Eléctrico/Electrónico.**

El motor accionará el sistema del polipasto para levantar y trasladar los rollos de fibra de vidrio o poliéster.

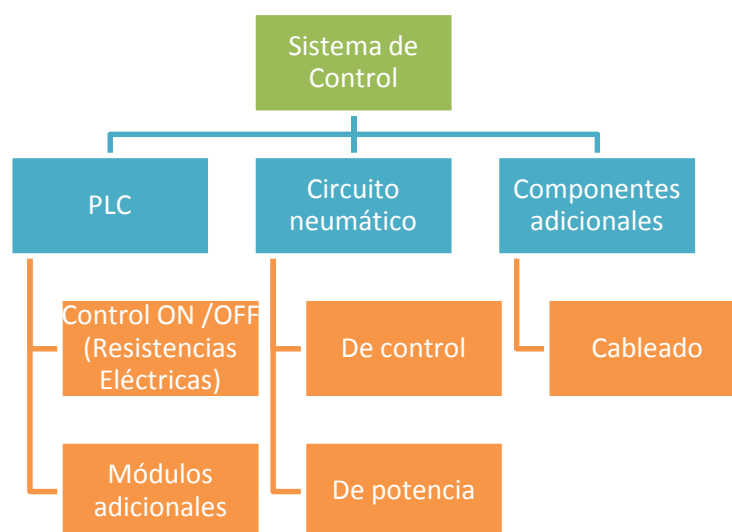
Las electroválvulas serán las encargadas de activar los cilindros neumáticos, mediante el diseño de un circuito neumático de potencia.

Las resistencias eléctricas constarán de un circuito de potencia que generará la temperatura necesaria para realizar el empalme de los rollos de fibra de vidrio.

El sistema constará de varios tipos de sensores, los que serán utilizados para el control de las variables del proceso. Para lo cual se contará con los siguientes tipos de sensores:

- ✓ De temperatura.- utilizados para el control de temperatura de las placas de fijación, tomando en cuenta las propiedades de la materia prima.
- ✓ De presión.- utilizados para determinar el fin de desenrollado de materia prima.

### 1.5.3 SISTEMA DE CONTROL



**Figura 12 Esquema del Sistema de Control.**



El PLC es el encargado de procesar la selección realizada por el operador y mediante la información recogida por los sensores, activar los respectivos actuadores (electroválvulas, resistencias eléctricas, etc.). El control de temperatura que se diseñará será de tipo ON/OFF para lograr mantener las placas de fijación en un cierto rango de temperatura.

Considerando que la empresa posee un sistema de distribución de aire a presión, se realizará los respectivos circuitos neumáticos de control y potencia dependiendo del procedimiento de empalme.

## CAPÍTULO 2

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 IMPERMEABILIZANTES LAMINARES

Dentro de los productos que la empresa Chova del Ecuador comercializa existen cinco grandes grupos, que abarcan distintos procedimientos de fabricación así como también una gran gama de aplicaciones. Estos grupos son los siguientes:

- Láminas Impermeabilizantes Asfálticas
  - » Sector de la construcción civil.
- Revestimientos Líquidos
  - » Imprimantes asfálticos para la impermeabilización.
- Emulsiones Asfálticas
  - » Aplicaciones viales.
- Placas Asfálticas Antirruído
  - » Aislantes acústicos interiores para vehículos.
- Productos Metálicos
  - » Canales y bajantes de aguas lluvias.

Para el caso de este proyecto de tesis se profundizará en el campo de Láminas Impermeabilizantes Asfálticas, puesto que en el proceso de fabricación de esta gama de productos interviene la máquina que se desea implementar. En la sección 2.2 del presente capítulo se describe con mayor detalle el proceso de fabricación de este tipo de impermeabilizantes.

Dentro de las Láminas Impermeabilizantes Asfálticas existe una amplia gama de productos derivados, que se diferencian en gran parte por su

utilidad, sus características químicas, propiedades mecánicas, su aspecto físico, y están definidas por *Líneas de Productos*. En la Tabla 2 se describe la distribución de líneas productos con sus respectivas subdivisiones.

**Tabla 2 Línea de Productos para Láminas Impermeabilizantes Asfálticas**

LÍNEAS DE PRODUCTOS	PRODUCTO FINAL	
<b>Línea lámina asfáltica adheridas con autoprotección</b>	Imperpol	3000
		4000
	Imperglass	3000
		4000
	Asfalum	
	Techofielt	3000
<b>Línea lámina asfáltica adheridas sin autoprotección</b>	Super K	2500
		3000
	Techofielt	2000
	Super K	3000 antiraíz
	Imperpol	3000 antiraíz
	4K	
	3K	
<b>Línea banda asfáltica autoadhesiva con autoprotección</b>	Imperband	
<b>Línea capas separadoras y drenantes</b>	Techofielt	1500
	Imptek Dren Jardín	

Fuente: Catálogo de Productos empresa Chova del Ecuador S.A.

A continuación se realizará una resumida descripción de las características y aplicaciones de todas los productos anteriormente expuestos, a manera de una introducción de lo que son las láminas impermeabilizantes.

*Imperpol*

a) 3000 (3mm) (4.3 kg/m<sup>2</sup>)

b) 4000 (4mm) (5.0 kg/m<sup>2</sup>)

Uso:

- Cubiertas planas e inclinadas de uso no transitable (Monocapa/Bicapa).

- Cubiertas planas de uso transitable con protección pesada y cubiertas inclinadas con protección pesada teja de arcilla.

Características armadura de poliéster: Resistencia a la tracción, desgarró, punzonamiento y capacidad de absorción de movimientos estructurales.

Función: impermeabilización de superficies planas, verticales e inclinadas.

Sujeción: termoadherible directa en superficies de hormigón. En superficies madera fibrocemento se recomienda sistema bicapa o refuerzos en unión de tableros.

### *Imperglass*

a) 3000 (3mm) (4.3 kg/m<sup>2</sup>)

b) 4000 (4mm) (5.0 kg/m<sup>2</sup>)

Uso:

- Cubiertas planas e inclinadas de uso no transitable (Monocapa)
- Cubiertas planas de uso transitable con protección pesada (Bicapa).

Características armadura de fibra de vidrio: Estabilidad dimensional.

Función: impermeabilización de superficies planas (bicapa) e inclinadas (monocapa).

Sujeción: termoadherible directa en superficies de hormigón. En superficies madera fibrocemento se recomienda sistema bicapa o refuerzos en unión de tableros.

### *Asfalum*

Uso:

- Cubiertas planas e inclinadas de uso no transitable (Monocapa y Bicapa).

Características armadura de fibra de vidrio: Estabilidad dimensional.

Función: impermeabilización de superficies planas e inclinadas.

Sujeción: termoadherible directa en superficies de hormigón, metal y fibrocemento.

### *Techofielt*

a) 2000 (2mm) (2.6 kg/m<sup>2</sup>)

Uso:

- Cubiertas inclinadas de uso no transitable con protección pesada teja.
- Cubiertas planas de uso transitable con protección pesada bicapa.
- Impermeabilización de superficies previo a instalación piso flotante.

Características armadura de fibra de vidrio: Estabilidad dimensional.

Función: impermeabilización de superficies planas e inclinadas.

Sujeción: termoadherible directa en superficies de hormigón, fibrocemento y madera.

### *Super K*

a) 2500 (2.5mm) (3.2 kg/m<sup>2</sup>)

b) 3000 (3mm) (3.8 kg/m<sup>2</sup>)

#### Uso:

- Cubiertas inclinadas de uso no transitable, protección pesada, teja de arcilla.
- Cubiertas planas de uso transitable con protección pesada, baldosa.
- Impermeabilización de estructuras enterradas (muros y cimientos).

Características armadura de poliéster: resistencia a la tracción, desgarró, punzonamiento y capacidad de absorción de movimientos estructurales.

Función: impermeabilización de superficies planas, verticales e inclinadas.

Sujeción: termoadherible directa en superficies de hormigón, fibrocemento y madera.

### *4K y 3K*

a) 4K (4.0mm) (4.9 kg/m<sup>2</sup>)

b) 3K (3.0mm) (3.8 kg/m<sup>2</sup>)

#### Uso:

- Barrera de vapor e insonorización en contrapisos y entrepisos.
- Impermeabilización y barrera de vapor en cuartos húmedos.

Características armadura de polietileno: capacidad de absorción de movimientos y barrera de vapor entre ambientes.

Función: impermeabilización, insonorización y barrera de vapor en superficies.

Sujeción: termoadherible directa en superficies de hormigón, fibrocemento y madera.

### *Imperband*

Uso:

- Sellante e impermeabilizante de puntos especiales cumbreras, limhoyas y juntas en soportes de fibrocemento previo a la colocación de teja.
- Impermeabilizante de puntos especiales e insonorización de paneles metálicos.

Características: resistencia a la tracción, desgarro, punzonamiento y absorción de movimientos.

Función: impermeabilizante y sellante de bases de soporte.

Sujeción: autoadhesiva.

### *Imptek Dren Jardín*

Uso:

- Capa drenante y filtrante aplicado a cubiertas ajardinadas.
- Capa drenante y filtrante aplicado a estructuras enterradas (muros).

Características: lámina nodular conos truncados e incorporado capa filtrante de poliéster.

Función: capa drenante para sustrato orgánico y capa filtrante impide paso de finos.

Sujeción: flotante y semiadherido.

## 2.2 PROCESO FABRICACIÓN IMPERMEABILIZANTES LAMINARES

Para el proceso de fabricación de las láminas impermeabilizantes asfálticas, la empresa Chova del Ecuador se basa en la utilización de 5 componentes primordiales, dependiendo del tipo de producto final; y son los siguientes: los rollos de fibra de vidrio o poliéster; los cuales se considera como la armadura estructural de las láminas impermeabilizantes. Y una mezcla adhesiva que está compuesta de: caolín, carbonato y asfalto.

En la fabricación de este tipo de impermeabilizantes se llevan a cabo dos procesos fundamentales que son: el de Impregnación y el de Laminación. A continuación se describirá las principales generalidades de cada uno de los procesos mencionados.

### 2.2.1 PROCESO DE IMPREGNACIÓN

El proceso de impregnación, básicamente es en el cual se genera la infiltración de la mezcla adhesiva sobre la lámina de materia prima. Esto se lleva a cabo mediante la inmersión de la lámina en un recipiente llamado balsa de impregnación (Figura 13), el cual contiene la mezcla: por rodillos dispuestos en los extremos de la misma.



**Figura 13 Balsa de Impregnación de la Línea de Producción de la Empresa Chova del Ecuador**



## 2.3 ESTUDIO DE LA MATERIA PRIMA PARA LÁMINAS IMPERMEABILIZANTES ASFÁLTICAS

### 2.3.1 FIBRA DE VIDRIO

Básicamente la fibra de vidrio es un material que está constituido de numerosos y extremadamente finos 'hilos', producidos artificialmente a partir del vidrio. Es considerado por algunos autores como un 'refuerzo' muy utilizado en la fabricación de materiales compuestos, en su mayoría, para aplicaciones industriales. El motivo de su gran acogida es gracias a las buenas características mecánicas que posee y también a su bajo coste.

#### *Tipos de Vidrios*

Existen varios tipos de vidrios, los cuales se originan de acuerdo a su composición química y de ésta manera adquieren determinadas propiedades. Los principales tipos se pueden observar en la Tabla 3.

**Tabla 3 Tipos de Vidrios**

Tipos de Vidrios	
<b>Vidrio E</b>	Eléctrico
<b>Vidrio A</b>	Alto contenido en álcali
<b>Vidrio AR</b>	Alcalí resistente
<b>Vidrio C</b>	Químico
<b>Vidrio R ó S</b>	Resistencia
<b>Vidrio D</b>	Dieléctrico
<b>Vidrio B</b>	Boro
<b>Vidrio ERC</b>	Eléctrico y resistente químico
<b>Vidrio X</b>	Con base de $Li_2O$

Fuente: Materiales Compuestos I, Barcelona. ESPAÑA, Antonio Miravete, 2007, p20.

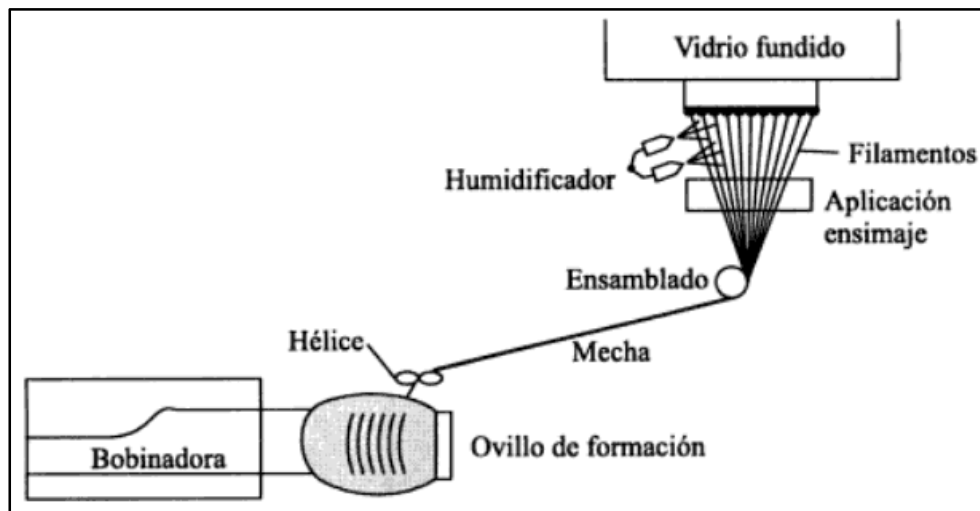
Por lo tanto los tipos de fibras de vidrio, dependerán del tipo de vidrio que se utilice para fabricarlas.

#### *Principales características*

- Alta adherencia fibra-matriz, gracias a recubrimientos apropiados para la mayoría de las matrices orgánicas.
- Resistencia mecánica, resistencia específica superior a la del acero.
- Características eléctricas, aislante eléctrico, permeabilidad a las ondas electromagnéticas.
- Incombustible, no propaga la llama ni origina con el calor humos ni toxicidad.
- Estabilidad dimensional, tiene un bajo coeficiente de dilatación.
- Compatibilidad con las materias orgánicas.
- Es imputrescible, no sufre ninguna alteración.
- Débil conductividad térmica.
- Excesiva flexibilidad.
- Bajo coste.

#### *Fabricación*

La producción continua de fibra de vidrio, solo fue posible con la invención de maquinaria de herramientas más finas. Esto se debe a que, para extraer fibras de vidrio, se lleva a cabo un proceso de estiramiento a muy alta temperatura, por tracción mecánica o por acción de fluidos en movimiento, de una veta de vidrio fundido y su inmediata solidificación. En la Figura 14 se observa un esquema que describe el proceso de fabricación mencionado.



**Figura 14 Esquema de Fabricación de la Fibra de Vidrio**

Fuente: Materiales Compuestos I, Barcelona. ESPAÑA, Antonio Miravete, 2007, p25.

#### *Presentaciones industriales*

Las presentaciones industriales se refieren a las características físicas que se le puede dar a la fibra de vidrio, dependiendo de la aplicación a la cual estará destinada la misma. Dentro de dichas características existen dos parámetros muy importantes que son: el título y el gramaje.

**Título:** el diámetro y número de filamentos que constituyen un hilo textil determinan la 'densidad lineal' o título. La densidad lineal o título de un hilo es la relación entre su peso y su longitud.

**Gramaje:** los tipos de hilos utilizados y la cantidad de los mismos por unidad de superficie determinan el gramaje de un tejido. El gramaje o densidad superficial es la relación entre el peso de un tejido y su superficie.

Las diferentes presentaciones de fibra de vidrio que existen a nivel industrial se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4 Presentaciones Industriales de la Fibra de Vidrio

<b>NOMBRE</b>	<b>CLASIFICACIÓN</b>
<b>Mat</b>	Superficie Hilos cortados Hilos continuos
<b>Roving</b>	Directo Ensamblado Spunroving Voluminizado Texturizado
<b>Tejido</b>	Equilibrado Orientado Unidireccional
<b>Preformas textiles</b>	Braiding Weft knitting Warp knitting
<b>Hilos cortados</b>	Refuerzo Termoplásticos Refuerzo escayolas Usos varios
<b>Varios</b>	Fibra molida Complejos Mat-Tejido

Fuente: Materiales Compuestos I, Barcelona. ESPAÑA, Antonio Miravete, 2007, p26.

Para el desarrollo de ésta tesis será únicamente importante el estudio de la fibra de vidrio en la presentación industrial Mat de Superficie.

Mat de Superficie: Son fieltros de hilos cortados, ligados fuertemente y calandrados. Los gramajes oscilan entre 25 y 80 gr/m<sup>2</sup> y se presentan en

rollos bobinados sobre un tubo soporte de cartón como se puede observar en la Figura 15.



**Figura 15 Mat de poliéster**

Las propiedades mecánicas de los diferentes tipos de vidrio, su gran capacidad de aislamiento, hacen de la fibra de vidrio, en la presentación mat de superficie un material idóneo para ser el esqueleto estructural de las láminas de impermeabilización asfálticas.

### **2.3.2 POLIÉSTER**

Es la denominación genérica de los polímeros, cuya cadena está formada por monómeros unidos por funciones éster. Químicamente una fibra de poliéster contiene como mínimo un 85% de éster de un diol y del ácido tereftálico.

Es una fibra resistente e inarrugable desarrollada en el Reino Unido, por ICI, en 1941. Posteriormente fue introducido en Estados Unidos con el nombre de Dacrón.

#### *Principales características*

- Tiene muy buena resistencia y durabilidad.

- Casi no presenta poder de absorción, es muy débil.
- Poco inflamable.
- Posee muy buena resistencia a la humedad y el lavado.
- Es imputrescible.
- Facilidad de secado.
- Buena resistencia a la abrasión.
- Elevada estabilidad dimensional.
- Gran aislante térmico.

### *Fabricación*

Esta fibra se fabrica a partir de productos químicos derivados del petróleo o del gas natural y requiere la utilización de recursos no renovables y de grandes cantidades de agua para el proceso de enfriamiento.

### *Presentaciones industriales*

- Resinas.
- Embases de bebidas gaseosas.
- Mat de poliéster.
- Tejidos con algodón.
- Reforzantes en telas de neumáticos junto con el nylon.
- Fibras para alfombras.

## **2.4 SISTEMA ESTRUCTURAL Y MECÁNICO**

En el capítulo anterior se realizó una esquematización de los diferentes sistemas que intervienen en el proceso de fabricación de una máquina Mecatrónica, dentro de los cuales se menciona al Sistema Mecánico y en él a todos los componentes que se han considerado necesarios para el

correcto funcionamiento del conjunto. Para un correcto diseño de dichos componentes y elementos se requiere el apoyo de una base teórica, la cual nos permita, mediante cálculos correspondientes y directrices de diseño, definir parámetros como: dimensiones, selección de materiales, etc.; para una construcción e implementación óptima de toda la parte mecánica de la máquina.

### 2.4.1 FUERZAS ESTÁTICAS

La rama de la mecánica que estudia el equilibrio estático de los cuerpos se llama Estática. La Estática es entendida como la ausencia de movimiento y tiene como objetivo el análisis de una serie de condiciones para que se verifique el equilibrio y que éste sea estable.

Las fuerzas se pueden clasificar en:

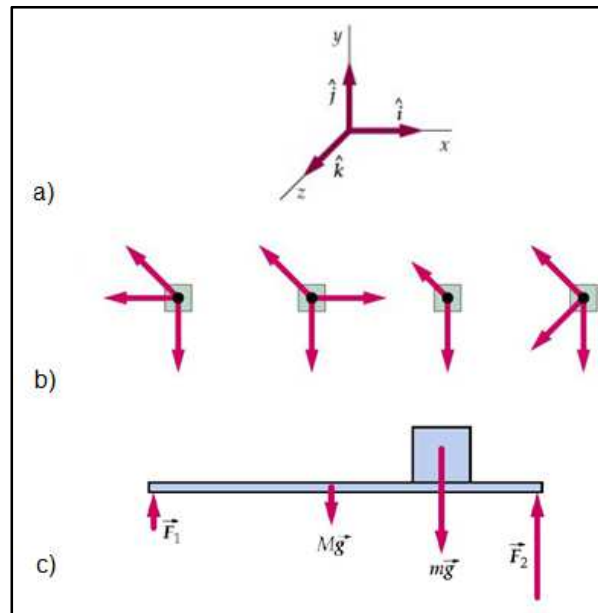
Fuerzas activas: que son las que tienen un valor conocido, variables con el tiempo o no, por ejemplo: cargas externas ejercidas sobre un cuerpo.

Fuerzas pasivas o fuerzas estáticas que son aquellas cuyo efecto no es producir movimiento, pero están presentes. También se las conoce como reacciones, y son las que sirven para imponer una determinada ligadura o apoyo; su valor debe calcularse imponiendo las ecuaciones de equilibrio compatibles con dicho apoyo.

*Composición de fuerzas:*

- Fuerzas Concurrentes: son aquellas que están aplicadas a un mismo punto. Figura 16 (a).
- Fuerzas Coplanares: son aquellas que están contenidas en un mismo plano. Figura 16 (b).

- o Fuerzas Paralelas: todas aquellas que tienen igual dirección (aunque pueden tener diferente sentido) que un determinado vector unitario. Figura 16 (c).



**Figura16 Tipos de Fuerzas Estáticas**

Fuente: <http://www.ual.es/~mnavarro/TEMA4Estatica.pdf>

## 2.4.2 CONDICIONES DE EQUILIBRIO

Un cuerpo está en equilibrio si se encuentra en reposo o se mueve con velocidad constante. Existen dos condiciones de equilibrio.

### *Respecto a la Traslación*

Indica que un cuerpo está en equilibrio de traslación si la resultante de todas las fuerzas exteriores que actúan sobre el mismo ha de ser cero.

$$\vec{F}_T = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i = 0 \quad (1)$$



$$\vec{F}_T = \frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d}{dt}(m\vec{v}) = m\vec{a} = 0 \Rightarrow \vec{a} = 0 = \frac{d\vec{v}}{dt} \Rightarrow \vec{v} = \text{constante} \quad (2)$$

$$\text{si } \vec{F}_T = F_x\hat{i} + F_y\hat{j} + F_z\hat{k} = 0 \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} F_x = \sum_{i=1}^n F_{i,x} = 0 \\ F_y = \sum_{i=1}^n F_{i,y} = 0 \\ F_z = \sum_{i=1}^n F_{i,z} = 0 \end{array} \right\} \quad (3)$$

### Respecto a la Rotación

Indica que un cuerpo está en equilibrio rotacional si la resultante de los momentos de torsión o torques de las fuerzas exteriores que actúan sobre él, respecto a un punto cualquiera ha de ser cero.

$$\vec{M}_T = \sum_{i=1}^n \vec{M}_i = \sum_{i=1}^n \vec{r}_i \times \vec{F}_i = 0 \quad (4)$$

$$\vec{M}_T = \frac{d\vec{L}}{dt} = \frac{d}{dt}(I\vec{\omega}) = I \frac{d\vec{\omega}}{dt} = I\vec{\alpha} = 0 \Rightarrow \vec{\alpha} = 0 \Rightarrow \vec{\omega} = \text{constante} \quad (5)$$

$$\text{si } \vec{M}_T = M_x\hat{i} + M_y\hat{j} + M_z\hat{k} = 0 \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} M_x = \sum_{i=1}^n M_{i,x} = 0 \\ M_y = \sum_{i=1}^n M_{i,y} = 0 \\ M_z = \sum_{i=1}^n M_{i,z} = 0 \end{array} \right\} \quad (6)$$

### 2.4.3 SOLIDWORKS FEM

Desde el inicio de la historia tecnológica de la humanidad, el ser humano ha experimentado los resultados del sometimiento a sollicitaciones y esfuerzos sobre distintos elementos, y de esta manera ha podido comprobar

si tras un determinado impacto deformar un metal o si después de cargar peso sobre una estructura, ésta ha colapsado.

Hasta hace un siglo el método de predicción de resultados ha consistido en establecer criterios en base al caso real, progresando hasta el ensayo a escala del modelo y con el incremento de riesgo/responsabilidad de las situaciones y la reducción de costes que implica, ha ido evolucionando hasta nuestros días, donde ya no es necesario fabricar modelo alguno para predecir de forma viable los resultados que se obtendría al someterlo a las condiciones específicas de trabajo.

El desarrollo teórico de estudio, análisis y cálculo en materia matemática y física ha permitido la determinación de sistemas de cálculo eficaces aunque de una complejidad sustancial que ha sido aliviada con el avance tecnológico en aplicación de la informática proporcionando de una manera práctica la obtención de resultados válidos.

#### *Método de elementos finitos*

La finalidad del método es la de convertir un problema definido en términos de ecuaciones diferenciales en un problema en forma matricial, que permite obtener una solución numérica aproximada sobre un cuerpo, estructura o dominio (medio continuo), por medio de su división en un número elevado de subdominios entre sí denominados “elementos finitos”, proporcionando el resultado correcto para éste número finito de puntos e interpolando posteriormente la solución al resto del dominio; para obtener finalmente una solución bastante aproximada.

El conjunto de elementos finitos forma una partición del dominio también denominada discretización. Dentro de cada elemento se distinguen una serie de puntos representativos llamados “nodos”. Los nodos son adyacentes si pertenecen al mismo elemento finito. El conjunto de nodos considerando sus relaciones de adyacencia se llama “*malla*”.

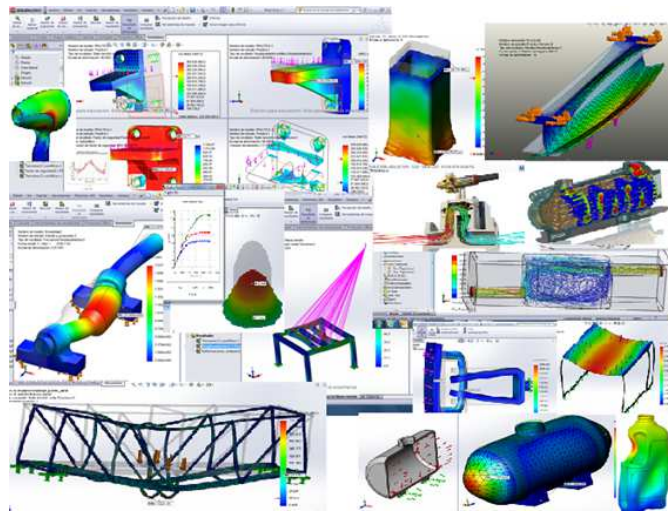
Desde el punto de vista de la programación algorítmica modular, las tareas necesarias para llevar a cabo un cálculo mediante un programa FEM se dividen en:

- Pre-proceso: consiste en la definición de la geometría, generación de la malla, condiciones de contorno y asignación de propiedades a los materiales.
- Cálculo: se reduce a obtener los desplazamientos en los nodos y con ellos definir de manera aproximada el campo de desplazamientos en el elemento finito.
- Post-proceso: aquí se calculan magnitudes derivadas de los valores obtenidos para los nodos, y en ocasiones se aplican operaciones de suavizado, interpolación e incluso determinación de errores de aproximación, para obtener representación gráfica y obtener conclusiones del problema.

### *Software Solidwork*

SolidworkSimulation permite conocer el rendimiento del producto en las primeras fases del proceso de diseño, evitando las costosas modificaciones del mismo, detectar problemas y corregirlos antes de llegar al prototipo, los utillajes y la producción y reduce el riesgo de que se produzcan problemas tras su puesta en marcha.

Este potente conjunto de herramientas de simulación está completamente integrado en el entorno de SolidworksSimulation, lo que permite un uso en todas las fases del desarrollo de productos. La óptima visualización de los resultados permite estudiar las fuerzas que afectan al diseño, mostrando tensiones, desplazamientos, velocidad de fluido, presiones, temperatura, etc. (Ver Figura 17).



**Figura17 Herramientas que ofrece SolidworkSimulation**

Fuente: <http://grupocarman.com/blog/solidworks-simulation/>

Así ofrece una completa gama de herramientas para analizar la estructura, el movimiento y la multifísica de las piezas y ensambles, o para explorar la dinámica de fluidos y flujo de calor alrededor y a través de diseño.

## 2.4.4 SISTEMAS DE TRANSMISIÓN

Puesto que la máquina en términos generales está direccionada al desbobinado de rollos de fibra de vidrio o poliéster, involucra en su construcción varios aspectos de transmisión de movimiento, en su mayor parte de tipo rotacional. Por ésta razón se considera importante el estudio previo de los distintos parámetros que conlleva el diseño propiamente dicho de elementos tales como: poleas, ejes, rodamientos, etc.

### 2.4.4.1 RODAMIENTOS

Los rodamientos son elementos de máquina de tipo apoyo que sustituyen el rozamiento producido por deslizamiento por el producido por rodadura. Se utilizan de soporte para elementos giratorios, tanto ejes como

árboles, y se diseñan para soportar cargas radiales, axiales o una combinación de ambas.

Se consideran también como mecanismos constituidos básicamente por:

- Anillo interno
- Anillo externo
- Conjunto de elementos rodantes, por ejemplo: bolas, cilindros, troncos de cono, etc.
- Jaula, que viene a ser una estructura o armadura la cual separa los elementos rodantes y los mantiene en su sitio durante el giro.

### *Clasificación*

Los rodamientos se clasifican de acuerdo a dos aspectos: según la carga que soportan y según el elemento rodante. En la Tabla 5 se describe la clasificación de los rodamientos de forma general.

**Tabla 5 Clasificación General de los Tipos de Rodamientos**

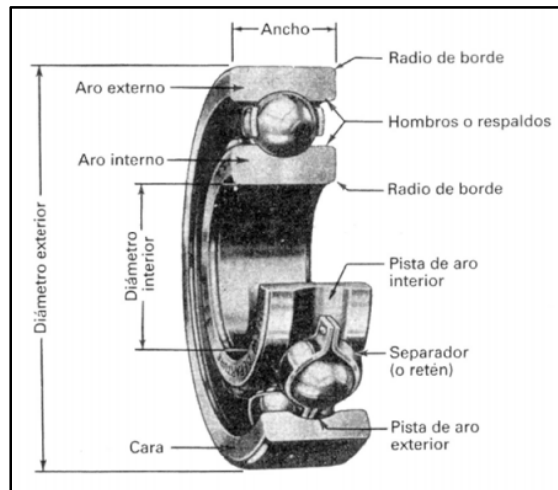
	<b>Rígidos de</b>	<b>De una hilera</b>
	<b>bolas</b>	De dos hileras
	De contacto	De una hilera
<b>Bolas</b>	angular	De dos hileras De cuatro puntos de contacto
	A rótula	De una hilera
		De dos hileras
		De cuatro hileras
	Cilíndricos	De una hilera completamente llena de rodillos
<b>Radial</b>		De dos hileras completamente llena de rodillos

	Rodillos	Casquillos de aguja
	Agujas	Con pestaña
		Sin pestaña
	A rótula	
		De una hilera
		De una hilera
	Cónicos	De cuatro hileras
		Cruzados
<b>Axial</b>	Bolas	De simple efecto
		De doble efecto
		Con contacto angular
	Rodillos	Cilíndricos
		Agujas
		A rótula
		Cónicos

Fuente: Teoría de las Máquinas Fundamentos y Aplicaciones, Madrid. ESPAÑA, JulíanRodriguez, 2005.

En el momento del diseño de los distintos elementos de una máquina, el estudio del diseño de los rodamientos difiere en varios aspectos, puesto que en este caso lo que se realiza es más bien una selección del rodamiento adecuado para una determinada aplicación, debido a que los rodamientos por especificar ya han sido diseñados y fabricados. Por tanto el procedimiento que se debe llevar a cabo involucra el análisis de distintos parámetros y características intrínsecas de un rodamiento.

Por lo tanto es prudente primero, definir las características principales de los rodamientos, los cuales se describen con claridad en la Figura 18.



**Figura18 Parámetros y Características de un Rodamiento**

Fuente: Elementos de Máquinas II, Mérida. VENEZUELA, Universidad de los Andes, 2010, p6.

Para la aplicación determinada de rodamientos, entre los factores de mayor importancia que deben contrastarse entre sí para decidir acerca del tipo. Más adecuado, podrían incluirse los siguientes:

- **Espacio disponible:** es una restricción para el rodamiento, que hace referencia al diámetro mínimo del agujero, puesto que el mismo será referido al diámetro mínimo que poseerá rotor.
- **Magnitud de la carga:** se considera como el factor predominante para la selección del tipo de rodamiento, por ejemplo, los rodamientos de rodillo poseen una capacidad mayor de soportar cargas que los de bolas.
- **Dirección de la carga.**
- **Capacidad de soportar momentos flectores:** las cargas actuando excéntricamente sobre rodamientos generan momentos flectores.
- **Capacidad de absorber desalineaciones angulares:** cuando el eje, que es soportado por los rodamientos, queda sometido a flexión pueden suscitarse este tipo de problemas.

- Límites de velocidad: La velocidad de rotación de los rodamientos está limitada por la temperatura máxima de funcionamiento permisible.
- Precisión: está relacionado con la velocidad del rodamiento, y se define de acuerdo a la aplicación futura del mismo.
- Rigidez: está representada por la magnitud de la deformación elástica, cuando el rodamiento se encuentra cargado.
- Montaje y desmontaje: en la selección adecuada de un rodamiento para una aplicación específica, debe considerarse el tipo de agujero interno del rodamiento y si son de diseño desarmable o no.

Para la selección de un rodamiento es importante también conocer la nomenclatura básica utilizada por los fabricantes, para definir las dimensiones externas de los mismos. En la Figura 19 se muestra dicha nomenclatura; en donde:

Para rodamientos de bolas:

*d*: diámetro del agujero.

*D*: diámetro exterior.

*B*: anchura.

Para rodamientos de rodillos cónicos:

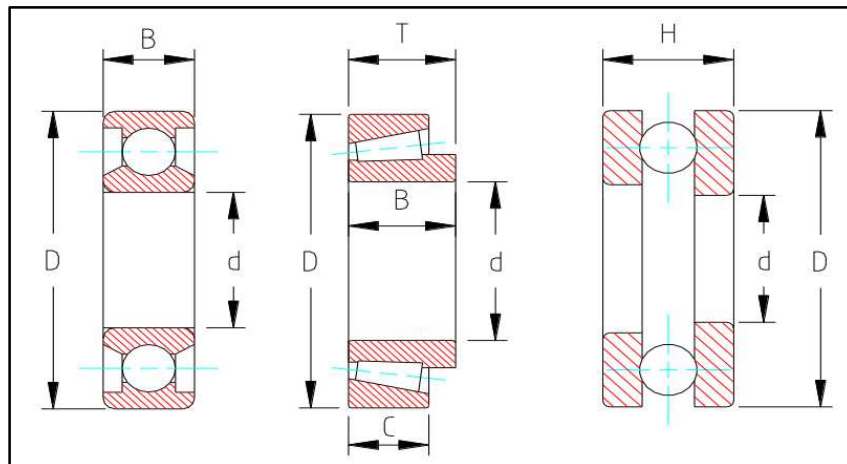
*B*: anchura del arco interno.

*C*: anchura del arco exterior.

*T*: anchura total del conjunto.

En el caso de rodamientos cilíndricos, solamente se sustituye la letra *H*, por la letra *B*.





**Figura 19 Nomenclatura Básica de los Diferentes Tipos de Rodamiento**

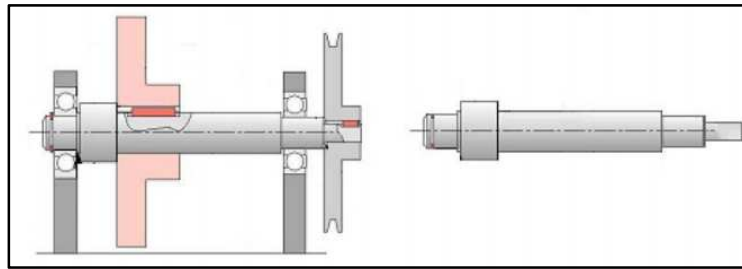
Fuente: Ejes y Flechas, Julieta Herrera

<https://designmethodology.wikispaces.com/file/view/EJES+Y+FLECHAS.pdf>

#### 2.4.4.2 EJES / FLECHAS

Un eje, flecha o árbol es un elemento de máquina normalmente cilíndrico, de sección circular, que puede ser rotatorio o estacionario. Su función principal es la de transferir movimiento y par de torsión rotatorios de un sitio a otro.

Por lo general, una flecha transmite a la máquina por lo menos un par de torsión proveniente de un dispositivo impulsor. Pero por otro lado los ejes o flechas pueden servir también a manera de soporte para engranes, poleas, rodamientos, etc.; mismas que transmiten un movimiento rotatorio de una flecha a otra vía engranes, bandas o cadenas.



**Figura 20 Ejemplo de Eje o Flecha**

Fuente: Ejes y Flechas, Julieta Herrera

<https://designmethodology.wikispaces.com/file/view/EJES+Y+FLECHAS.pdf>

Las cargas en las flechas de transmisión rotatoria son principalmente de uno de dos tipos: torsión debido al par de torsión transmitido o de flexión proveniente de cargas transversales por engranes, poleas o piñones.

Lo más común en las flechas es que tengan una diversidad de escalones o resaltos donde cambia el diámetro, a fin de adaptarse a elementos sujetos como cojinetes, piñones, engranes, etc., como se aprecia en la Figura 20. Estos denominados escalones son necesarios para conseguir una ubicación axial, precisa y consistente de los elementos sujetos, así como para obtener el diámetro correcto, adecuado a piezas estándar como los cojinetes.

Un procedimiento general para el cálculo y diseño de flechas se puede condensar en las siguientes etapas:

- a) Determine la velocidad de giro del eje o flecha.
- b) Calcule la potencia o torque que va a transmitir el eje.

$$P = T\omega \quad (7)$$

- c) Determine el diseño de los componentes transmisores de potencia u otros dispositivos que se pretenda montar en la flecha y especifique su posición.

- d) Precise la ubicación de los cojinetes en los que se apoyará el eje, considerando que las reacciones en los cojinetes que soportan cargas radiales, ejercen acción en el punto medio de los mismos.
- e) Proponga la forma general de la geometría para el eje o flecha, considerando de qué manera se mantendrá en posición axial y como se llevará a cabo la transmisión de potencia a partir de cada elemento hacia el eje.
- f) Calcule la magnitud del torque que se observa en todos los puntos del eje.
- g) Calcule las fuerzas que ejercen acción sobre el eje, tanto radial como axialmente.
- h) Determine las fuerzas radiales en componentes en sentidos perpendiculares, por lo regular tanto vertical como horizontalmente.
- i) Calcule las reacciones en todos los cojinetes de soporte en cada plano.
- j) Elabore las gráficas completas de fuerza de corte y de momento de flexión para determinar la distribución de los momentos de la flexión sobre el eje.
- k) Elija el material con que se va a fabricar el eje y especifique su condición: extruido en frío con tratamiento térmico y demás.
- l) Calcule una tensión de diseño adecuada, considerando la manera en que se aplica la carga suave, de choque, sucesiva e inversa o de otro tipo.
- m) Analice cada punto crítico del eje para determinar el diámetro mínimo aceptable del eje para verificar la seguridad bajo aplicación de carga en cada punto.
- n) Especifique las dimensiones finales para cada punto en el eje. Deben especificarse, a su vez, detalles como: tolerancias, radio de los chaflanes, altura de los hombros, y dimensiones de los cuñeros.

*Ecuaciones de diseño*

Para el cálculo de los esfuerzos alternantes y de flexión medios que aparecen en la superficie exterior de una flecha, se los puede determinar a partir de:

$$\sigma_a = K_f \frac{M_a c}{I} \quad (8)$$

$$\sigma_m = K_{fm} \frac{M_m c}{I} \quad (9)$$

Donde  $k_f$  y  $k_{fm}$  son los factores de concentración de esfuerzos a la fatiga por flexión para los componentes alternante y medio, respectivamente. Por el hecho de que una flecha típica tiene una sección transversal redonda sólida, se puede sustituir en lugar de  $c$  y de  $I$ :

$$\sigma_a = k_f \frac{32 M_a}{\pi d^3} \quad (10)$$

$$\sigma_m = k_{fm} \frac{32 M_m}{\pi d^3} \quad (11)$$

Los esfuerzos cortantes alternantes y torsionales se determinan a partir de:

$$\tau_a = k_{fs} \frac{16 T_a}{\pi d^3} \quad (1)$$

$$\tau_m = k_{fs} \frac{16 T_m}{\pi d^3} \quad (2)$$

En caso de existir una carga axial a tensión  $Fz$ , esta se determina por medio de:

$$\sigma_{m_{axial}} = k_{fm} \frac{Fz}{A} = k_{fm} \frac{Fz}{\pi d^2} \quad (3)$$

Diseño de una flecha para tensión alternante con torsión uniforme:

$$d = \left\{ \frac{32 N_f}{\pi} \left[ \left( K_f \frac{M_a}{S_f} \right)^2 + \frac{3}{4} \left( K_{fm} \frac{T_m}{S_y} \right)^2 \right]^{1/2} \right\}^{1/3} \quad (4)$$

Diseño de una flecha para flexión fluctuante y una torsión fluctuante:

$$d = \left\{ \frac{32 N_f}{\pi} \frac{\sqrt{(K_f M_a)^2 + \frac{3}{4} (K_{fsm} T_a)^2}}{S_f} + \frac{\sqrt{(K_{fm} M_m)^2 + \frac{3}{4} (K_{fsm} T_m)^2}}{S_{ut}} \right\}^{1/3} \quad (5)$$

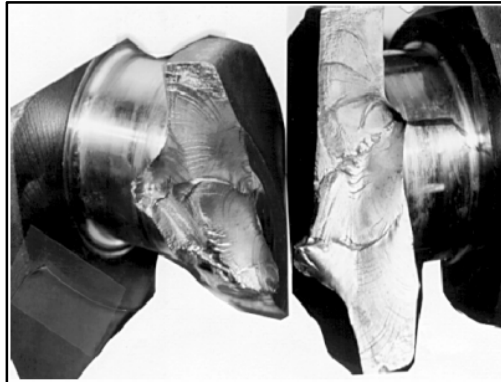
#### 2.4.4.3 FATIGA

La fatiga es el deterioro progresivo de un material (Ver Figura 21), bien sea metálico, cerámico, polimérico o compuesto, que origina la aparición y propagación de grietas –que causan la fractura del material- y se presenta por acción de esfuerzos o cargas variables en el tiempo, es decir, cargas que aparecen y desaparecen o cuya magnitud es variable.

Se sabe que el 90% de las fallas de los componentes industriales, es debido a este fenómeno.

##### *Fases de rotura por fatiga*

**Nucleación:** en ésta fase se inicia una o más grietas (muesca o fisura) en la superficie del material. En general ocurren alrededor de alguna fuente de concentración de tensión.



**Figura 21 Fractura de un Cigüeñal por Fatiga**

Fuente: Adaptado de Soto, J.G. (2010). *Teoría de Máquinas* (p. 4.2).  
*Pamplona-España. Universidad de Navarrete.*

Propagación: la fisura se propaga por efecto de las cargas. Además, las grietas generalmente son finas y de difícil detección, aun cuando se encuentren próximas a producir la rotura.

Rotura: Cuando la sección transversal restante del material resulta demasiado pequeña, es decir cuando se separan las partículas en el plano de la fisura, la sección neta de la pieza es incapaz de continuar resistiendo la carga desde un punto de vista estático produciéndose la rotura por fatiga.

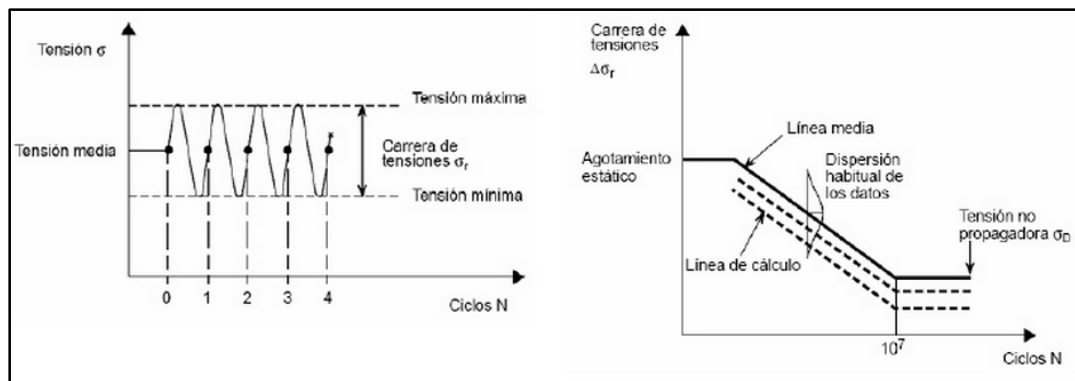
#### *La resistencia a la fatiga*

La resistencia a la fatiga de un componente se define como el rango de tensión ( $\Delta\sigma_R$ ) que, fluctuando a una amplitud constante, origina el agotamiento de dicho componente tras un número especificado de ciclos (N). A su vez se entiende por rango de tensión por la diferencia entre los puntos máximo y mínimo del ciclo. El número de ciclos hasta la rotura es lo que se denomina resistencia o vida a la fatiga.

La expresión que relaciona N y  $\Delta\sigma_R$  suele representarse en escala logarítmica como una línea recta.

$$\log N = \log a - m \log \Delta\sigma_R \quad (6)$$

Esta relación se limita a la rotura estática que se produce cuando se supera la resistencia límite del material cuando el número de ciclos es bajo (Ver Figura 22).



**Figura 22 Representación Gráfica de la relación entre Número de Ciclos y Rango de Tensión.**

Fuente: Adaptado de Soto, J.G. (2010). *Teoría de Máquinas* (p. 95).

*Pamplona-España. Universidad de Navarrete.*

### *Factores que influyen en la resistencia a fatiga*

**Tensión media:** Cuando es de tracción disminuye la resistencia a fatiga.

**Efecto entalla:** Por la falta de homogeneidad, la existencia de defectos macroscópicos superficiales, la presencia de roscas, taladros, soldadura, cambios de sección, etc.

**Tamaño:** Las piezas de mayor tamaño son más sensibles al efecto entalla debido a la mayor probabilidad de que existan puntos débiles o defectos.

Acabado superficial: Cuanto más rugosas son las superficies rugosas más sensibles son. Además los defectos y entallas superficiales son más perjudiciales que los internos.

Tratamientos superficiales: Algunos tratamientos como el martilleado, el granallado o el laminado en frío generan tensiones de compresión aumentando la resistencia a fatiga.

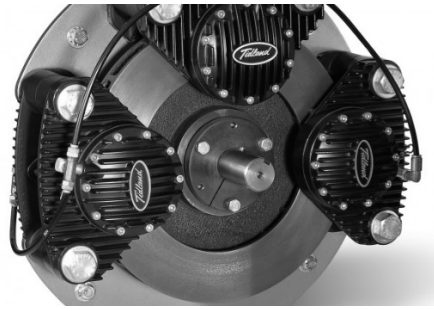
Temperatura: A baja temperaturas los metales suelen aumentar su resistencia a fatiga aunque por otro lado se hacen más sensibles a la rotura frágil.

Corrosión: La corrosión progresa más rápidamente con cargas de amplitud variable. La presencia de corrosión provoca entallas y mordeduras.  
Tipo de acero: Los de alta resistencia son más sensibles al efecto entalla por lo que su resistencia a fatiga es menor en términos relativos.

#### **2.4.4.4 FRENO NEUMÁTICO**

Como se ha explicado anteriormente, uno de los aspectos más importantes dentro del proceso de empalme de los rollos de materia prima, es el desbobinado de los mismos; lo cual involucra el uso de ejes o flechas que soportan dichos rollos y los cuales están sujetos a considerables velocidades angulares. Por cuestiones de control de tensión de la lámina es primordial la manipulación de dicha velocidad, para de esta manera evitar rupturas o debilitamiento de la lámina; aspectos que podrían influir en la calidad del producto final. Para poder efectuar un correcto control de este parámetro físico, se ha considerado la utilización de los denominados ‘frenos neumáticos’(Ver Figura 23).





**Figura 23 Freno Neumático de Disco marca Tindland**

Fuente: <http://tidland.maxcessintl.com/es/winding/tidland-air-brakes>

El freno neumático es un tipo de freno cuyo accionamiento se realiza mediante aire comprimido. Se utiliza principalmente en trenes, camiones, autobuses y aplicaciones industriales.

#### *Funcionamiento*

Todos los frenos de aire básicamente funcionan de la misma manera. El aire comprimido se reúne en un depósito o cilindro. Cuando un interruptor se presiona, el aire es forzado a salir del depósito y esto empuja un pistón que presiona una zapata o pastilla de freno contra el tambor o disco respectivamente. Lo que realmente hace que el eje o rueda se detenga es la fricción producida entre el dispositivo de frenado (zapata o pastilla) y el elemento acoplado al eje o rueda (tambor o disco). La única diferencia entre un freno neumático y uno hidráulico o mecánico es la fuerza con la que empuja a la zapata o pastilla de freno.

#### **2.4.5 SISTEMA TÉRMICO PARA EMPALME**

Para la consolidación del empalme de las fibras de materia prima, se realiza un procedimiento de planchado al calor de las mismas, para de esta manera fundir el material adhesivo y generar la unión.

Como se explicó en el capítulo 1, éste procedimiento se lleva a cabo mediante la utilización de dos planchas rústicas de hierro, las cuales son calentadas por la exposición de las mismas a la flama de un soplete durante aproximadamente 30 minutos. Mientras por otro lado se realiza la calefacción de una pequeña mesa de empalme de 12 mm de diámetro, gracias a la acción de una niquelina conectada a una de las superficies de dicha mesa.

Para la optimización y automatización de éste procedimiento se ha definido los siguientes mecanismos:

#### *Placa Térmica móvil*

Consta de una placa de acero de 1 pulgada de espesor; la cual será calentada mediante el acople de cartuchos de resistencias. Su función será la de realizar el planchado desde la parte superior del empalme de las fibras de materia prima. Para esto, se acoplará dicha placa a los vástagos de los cilindros los cuales proporcionarán el movimiento.

#### *Mesa de Empalme*

Está conformada de una placa de acero de ½ pulgada de espesor, a la que se le acoplarán niquelinas para calentarla a la temperatura adecuada. Tiene la función de soportar la presión que genera la placa térmica móvil para realizar el aplastamiento del empalme de las fibras de materia prima. Dicha mesa se sujetará a la estructura del empalmador y será desmontable.

Cuando dos sistemas a diferente temperatura se ponen en contacto se transfiere energía. El proceso mediante el cual tiene lugar este transporte de energía se conoce como transmisión de calor.

El calor, en esencia, se transporta, o se “mueve”, mediante un gradiente de temperatura, fluye o se transfiere de una región de alta temperatura a una de baja temperatura. El calor no puede ser medido ni es observable directamente; pero sus efectos, preferentemente variaciones de energía interna, permiten su medida.

Por lo explicado se define que la transmisión de calor para la aplicación de ésta tesis se basará en el principio de transferencia de calor por conducción.

Los mecanismos a través de los cuales se transmite el calor son: conducción, convección y radiación. Tanto la conducción como la convección necesitan de un medio material para poder transferir esta energía, mientras que la radiación no lo necesita.

#### 2.4.5.1 CONDUCCIÓN

Es el mecanismo de transmisión en sólidos y exclusivo en los mismos. Cuando en un medio material existe un gradiente de temperatura el calor fluye en sentido contrario a este gradiente. La energía se transfiere debido al movimiento de átomos, moléculas, iones y electrones, que constituyen la sustancia.

La velocidad a la que el calor se transfiere por conducción,  $q_k$ , es proporcional al gradiente de temperatura  $dT/dx$  por el área  $A$  a través de la que se transfiere el calor:

$$q_k \propto A \frac{dT}{dx} \quad (7)$$

Donde:

$T$  : temperatura local

$x$  : distancia en la dirección del flujo de calor

La velocidad real del flujo de calor depende de la conductividad térmica  $k$ , que es una propiedad física del medio. Entonces para la conducción a través de un medio homogéneo, la tasa de transferencia de calor es:

$$q_k = -kA \frac{dT}{dx} \quad (8)$$

La ecuación (17) define la conductividad térmica y se denomina ley de la conducción de Fourier. El signo negativo se debe a lo mencionado anteriormente, que el flujo de calor debe fluir en dirección de una temperatura mayor a una menor, lo cual es consecuencia la segunda ley de la termodinámica.

La conductividad térmica es una propiedad del material que indica la cantidad de calor que fluirá por tiempo unitario a través de un área unitaria cuando el gradiente de temperatura es unitario. En el sistema SI, el área está en metros cuadrados ( $m^2$ ), la temperatura en kelvine (K),  $x$  está en metros (m) y la tasa de flujo de calor en watts (W).

### *Paredes planas*

En el caso simple de flujo de calor unidimensional en régimen permanente a través de una pared plana, el gradiente de temperatura y el flujo de calor no varían con el tiempo, y el área de sección transversal a lo largo de la trayectoria del flujo es uniforme. Entonces las variables en la ecuación (18) se pueden separar y la ecuación resultante es:

$$\frac{q_k}{A} \int_0^L dx = - \int_{T_{caliente}}^{T_{fría}} k dT = - \int_{T_1}^{T_2} k dT \quad (20)$$

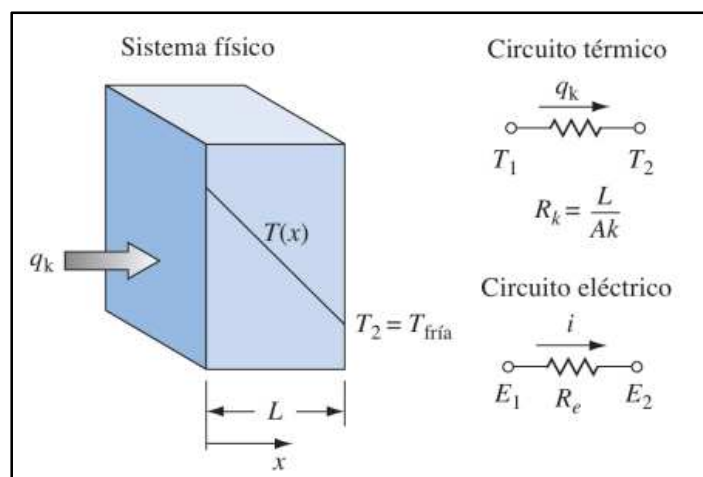
Si  $k$  es independiente de  $T$ , después de integrar se obtiene:

$$q_k = \frac{Ak}{L} (T_{caliente} - T_{fría}) = \frac{\Delta T}{L/Ak} \quad (21)$$

La cantidad  $L/Ak$  es equivalente a una resistencia térmica  $R_k$  que la pared opone al flujo de calor por conducción:

$$R_k = \frac{L}{Ak} \quad (22)$$

Existe una analogía entre los sistemas de flujo de calor y los circuitos eléctricos DC. Como se observa en la Figura 24.



**Figura 24 Distribución de Temperatura para Conducción en Régimen Permanente a Través de una Pared Plana y Analogía entre Circuitos Térmico y Eléctrico.**

Fuente: Kreith, F., Manglik, R., Bohn, M. (2012). *Principios de Transferencia de Calor* (p. 95). Séptima edición. Mexico D.F. CENGAGE Learning.

## 2.5 SISTEMAS DE CONTROL

### 2.5.1 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC WAGO)

Los controladores programables de WAGO (Ver Figura 25) pueden realizar una variedad de tareas de automatización y ofrecer todos los beneficios de la tecnología PLC estándar (por ejemplo, la robustez, estabilidad, confiabilidad y alta disponibilidad).

Un gran número de aplicaciones se puede realizar a través de la conexión directa de una amplia gama de módulos de E/S de WAGO-I/O-SYSTEM 750. Con rendimiento y capacidades que se extienden desde los controladores Ethernet sencillos de gama alta I/O-IPC. Los controladores de WAGO proporcionan memoria escalable y velocidad, además de una variedad de interfaces y protocolos de comunicación.

Además, las interfaces de los controladores WAGO permiten comunicarse con sistemas de control de niveles superiores.



**Figura 25 Controlador Wago**

Fuente: wago\_controllers.pdf

### Características

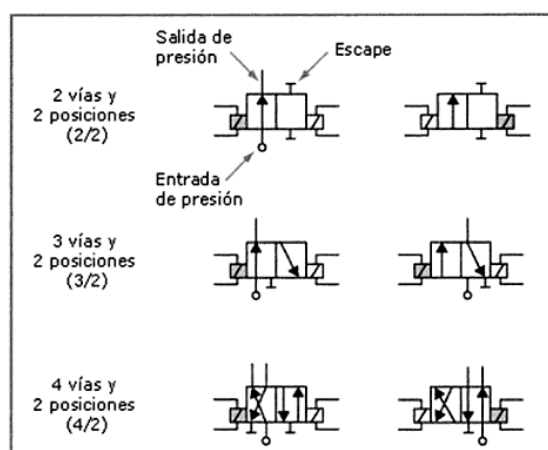
- Fieldbus independiente - Soporta todos los estándar
- Protocolos de bus de campo y estándares de Ethernet
- Rendimiento escalable - Controladores, paneles de control, IPCs
- Plataforma flexible se adapta a diversas aplicaciones y entornos

Programable IEC 61131-3

### 2.5.2 ELECTROVÁLVULAS

Una electroválvula es un elemento que incorpora un conjunto de una válvula mecánica para permitir, o no, el paso de un fluido o un árido y de un electroimán. Las electroválvulas son aquellos elementos que permiten su control mediante un controlador eléctrico o electrónico y, en consecuencia, son elementos del máximo interés en automatización industrial. Es un tipo de válvula que acopla dos tipos de energía, una neumática y la otra eléctrica.

Existe una amplia cantidad de válvulas, siendo las más habituales para el control de cilindros de simple y doble efecto(Ver Figura 26).



**Figura 26 Tipos de Electroválvulas**

Fuente: Peña Joan Domingo. Introducción a los autómatas programables.  
Primera Edición. UOC

La principal característica de una electroválvula es la tensión de trabajo de su bobina. En el mercado existen electroválvulas que trabajan a 230 V de corriente alterna y, también, a 24 V y 12 V, tanto en alterna como en continua.

Cuando se cierra el circuito eléctrico de la bobina se forma un campo magnético que atrae a un núcleo o armadura basculante hasta topar con la superficie polar del electroimán.

### **2.5.3 SENSOR DE TEMPERATURA**

El sensor de temperatura, típicamente suele estar formado por el elemento sensor, la vaina que lo envuelve y que está rellena de un material muy conductor de la temperatura, para que los cambios se transmitan rápidamente al elemento sensor y del cable al que se conectarán el equipo electrónico.

Se dispone de una gran variedad de sensores de temperatura, a fin de seleccionar el mejor, se deben tener en cuenta varios factores:

- Temperatura Máxima
- Rango de Temperatura a Medir
- Velocidad de Respuesta
- Costo
- Requerimiento de Mantenimiento

#### *Termocuplas*

Una termocupla es un transductor de temperatura, constituido por dos conductores que desarrollan una f.e.m. que es función de la diferencia de temperatura entre sus uniones, una caliente ubicada en el lugar a medir temperatura, y una fría tomada como referencia.



Las termocuplas(Ver Figura 27) se fabrican con metales puros o sus aleaciones, y se usan para medir temperaturas que van desde los 80 grados hasta los 1800 grados centígrados aproximadamente, con termocuplas estándares, con aleaciones especiales pueden llegarse a temperaturas superiores a los 3000 grados centígrados(Ver Tabla 6).

**Tabla 6 Rangos de Medida de los Sensores de Temperatura**

Sensor de Temperatura	Temp. Mínima	Temp. Máxima
Termocuplas	-220 °C	2800 °C
Sistemas de Dilatación	-195 °C	760 °C
Termo Resistencias	-250 °C	850 °C
Termistores	-195 °C	450 °C
Pirómetros de Radiación	-40 °C	4000 °C

Fuente:[http://www.efn.uncor.edu/departamentos/electro/cat/eye\\_archivos/apuntes/a\\_practico/Cap%206%20Pco.pdf](http://www.efn.uncor.edu/departamentos/electro/cat/eye_archivos/apuntes/a_practico/Cap%206%20Pco.pdf)



**Figura 27 Termocupla Tipo J**

Fuente: <http://termocuplas.com.co/web/product/termocupla-con-bayoneta/>

## 2.5.4 SENSOR DE TENSION

Existe una gran variedad de dispositivos para medir las fuerzas de contacto entre el efector final de un manipulador y el entorno con el que interactúa. La mayoría de dichos sensores utiliza elementos de detección llamados indicadores de tensión, ya sea la variedad de semiconductor o la de laminilla de metal. Estos indicadores de tensión están enlazados a una estructura de metal y producen una salida proporcional a la tensión en el metal.

Existen varias formas para controlar la tensión:

### *Equipos con Celdas de Carga:*

Este es el único sistema que mide y mantiene la tensión constante en aplicaciones de desenredado, enredado o de punto a punto. Son relativamente fáciles de adaptar en equipos ya existentes.



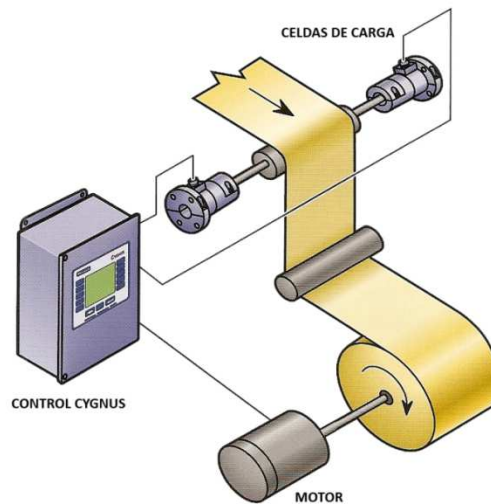
**Figura 28 Celda de Carga MAGPOWR TS**

Fuente: <http://magpowr.maxcessintl.com/es/control-de-la-tensi%C3%B3n/c%C3%A9lulas-de-carga-ts-de-magpowr>

El sistema consta de un juego de celdas de carga (Ver Figura 29), que al detectar mayor o menor valor de tensión envía la señal al control, para que

suministre al freno, embrague o transmisión de velocidad variable mayor o menor par de torsión, para mantener la tensión constante.

El control proporciona la lectura de la tensión, en la cual puede haber una pequeña variación, debido a excentricidades de los rodillos, así como excentricidad de los rollos de desembobinado y embobinado.



**Figura29 Equipos con Celdas de Carga**

Fuente: <http://www.ttemsa.mx/controlsdetension.html>

## **CAPÍTULO 3**

### **3. ALTERNATIVAS**

#### **3.1 CONDICIONES Y PARÁMETROS PARA EL DISEÑO**

Con base en la información hemos determinado los requisitos del cliente y se las tradujo a las especificaciones de ingeniería mediante el uso de QualityFunctionDeployment (QFD).

##### **3.1.1 DESPLIEGUE DE LA FUNCIÓN DE CALIDAD**

La matriz QFD es una técnica de grupo que facilita la toma de decisiones de una manera flexible y completa la cual es utilizada casi siempre en el desarrollo de productos. Hemos determinado las necesidades del cliente y determinar los pesos para cada requisito. Además, se utilizó modelos actuales de empalmadoras como punto de referencia para las mejoras de diseño. Entonces, se han generado las especificaciones técnicas y los requisitos del cliente las cuales se correlacionaron con las especificaciones de ingeniería.

##### **3.1.2 REQUISITOS DEL CLIENTE**

Dado que este proyecto consiste en la construcción de un Sistema Automatizado para el empalme de rollos de fibra de vidrio y poliéster, hay que considerar cuales son las necesidades.

De las reuniones realizadas con algunos profesionales dedicados a la construcción de estos sistemas se determinó la necesidad de diseñar una empalmadora que cumpla con los siguientes criterios:

- Reducir el Tiempo de Proceso de Empalme
- Seguridad al Operador
- Los Materiales Apropriados

Además de los requisitos establecidos, hemos considerado algunos otros requisitos de importancia en el desarrollo del proyecto. La empalmadora debe ser fácil de fabricar y de fácil mantenimiento, principalmente.

Los requisitos del cliente se encuentran en la parte izquierda de la QFD, y determinan los pesos para cada requisito basado en prioridades de los clientes y sus necesidades(Ver Figura 33).

### **3.1.3 ESPECIFICACIONES DE INGENIERÍA**

#### Temperatura de Empalme

La temperatura de operación de la empalmadora se restringe por la temperatura en la cual el adhesivo trabaja correctamente sin perder sus propiedades, y la temperatura que puede soportar la fibra de vidrio para no propiciar fenómenos como el desprendimiento o quemado de las láminas. Esta temperatura oscila entre 120 a 200°C.

#### Presión

El empalme de los rollos de produce a una presión constante ejercida por la placa térmica y la mesa de empalme, esta presión debe ser mayor a 2 bares.

### Tiempo de Empalme

El tiempo de empalme de los rollos se define por las propiedades del adhesivo que se utilizará para unir la fibra de vidrio, y el área de empalme. El tiempo oscila entre 15 y 90 segundos.

### Estructura

El principal parámetro el diseño de la estructura es la capacidad de poder cargar dos rollos al mismo tiempo. Considerando que el sistema cuenta con una mesa de empalme, rodillos y un polipasto.

### Selección del Sensor de Temperatura

Para controlar la temperatura en la placa térmica, el rango de funcionamiento del sensor se ubica entre 120 y 200 °C. Una termocupla cumple con este requerimiento.

### Cálculo de la Pérdida de Calor en la Placa Térmica

La pérdida de calor superficial ocurre por convección libre en las paredes verticales, así como en las paredes horizontales, aproximadamente se considera alrededor de 20%.

**Tabla 7 Especificaciones del Sistema Empalmador**

CRITERIOS	DATOS
Temperatura de Empalme	120 a 250°C
Presión	> 2 bar
Tiempo de Empalme	15 a 90 seg
Sensor de Temperatura	Rango 120 a 400°C
Pérdida de Calor en la Placa Térmica	20% máximo

### 3.1.4 DISEÑO MORFOLÓGICO

#### (Función Global – Nivel 0)

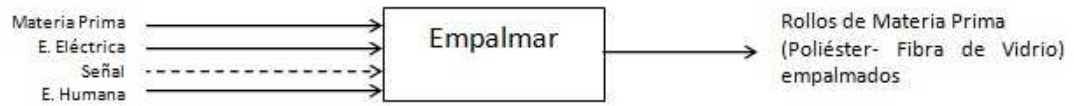


Figura 30 Diseño Morfológico – Nivel 0

#### Modo de Operación (Empalmar – Nivel 1)

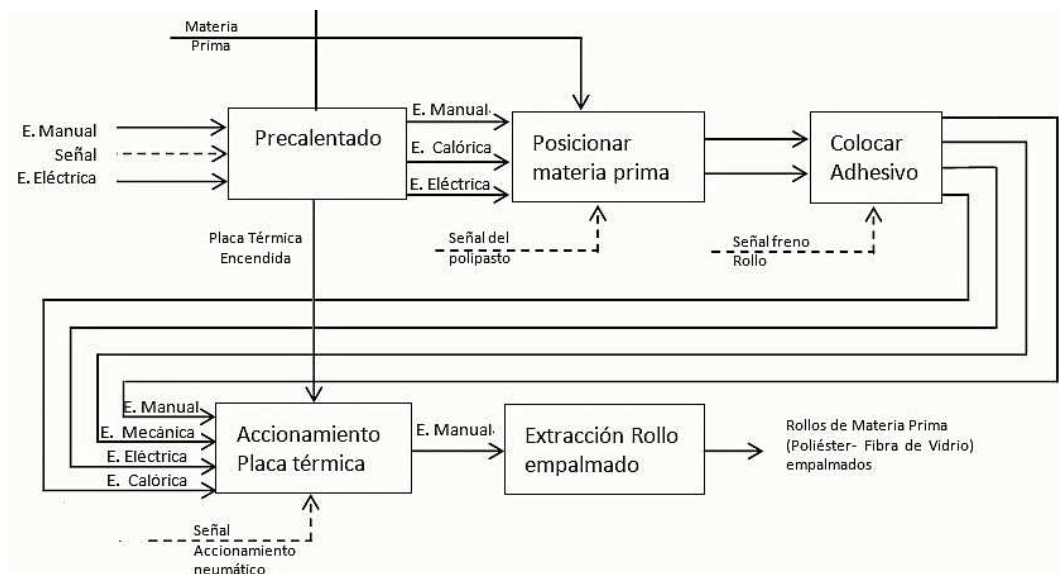
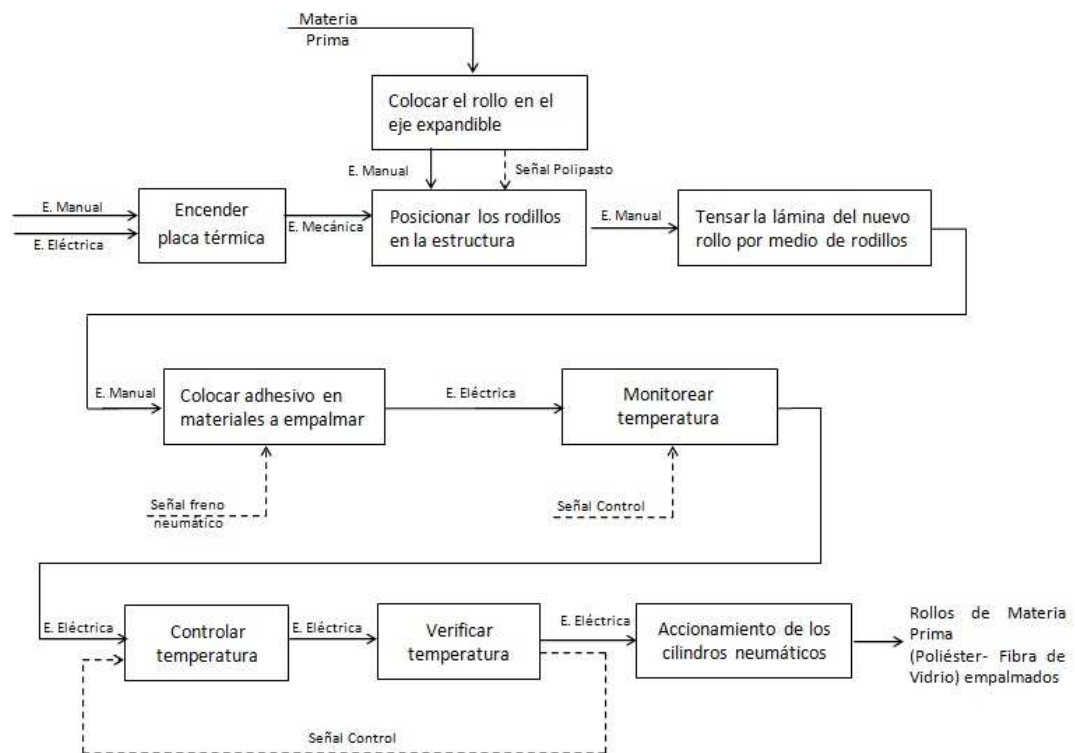


Figura 31 Diseño Morfológico Nivel 1

## Nivel 2



**Figura 32 Diseño Morfológico Nivel 2**

### 3.1.5 CORRELACIÓN REQUISITOS DEL CLIENTE – ESPECIFICACIONES DE INGENIERÍA

Después de determinar tanto los requisitos de los clientes y las especificaciones de ingeniería, se colocan valores de correlación para cada requisito y especificación para determinar su fortaleza o debilidad para relacionarlos entre sí.

### 3.1.6 ESPECIFICACIONES DE INGENIERÍA Y SU CORRELACIÓN

En la parte superior de la QFD, las especificaciones de ingeniería se correlacionan entre sí cuando esta sea positiva, o negativo en caso de no existir correlación. Esta correlación muestra los efectos sobre cada especificación cuando se cambia alguna de ellas.



### 3.1.7 OBJETIVO DEL DISEÑO DE INGENIERÍA

Con el QFD, se determinó la especificación de ingeniería más importante que necesita ser satisfecho en función de las necesidades del cliente, y se ordenó de acuerdo a su importancia. Con el fin de maximizar la eficiencia de la empalmadora, la especificación de ingeniería más importante que se debe cumplir es tiempo de proceso. Las próximas dos especificaciones más importantes para satisfacer las necesidades planteadas son la temperatura de empalme constante y la seguridad hacia los operadores.

Características de Calidad ¿Cómo?									
	Bajo Consumo Energético	Tiempo Menor al Empalme en Proceso Manual (menor 3 min)	Bajo Costo de Materiales	Bajo Costo de Mantenimiento	Temperatura en el Rango de Diseño	Información de Operación Clara	Material con Medidas Normalizadas	Altura de la Mesa de Empalme en el Rango de 900 a 1000 mm	Seguridad
Eficiente	⊖	⊖			⊖				
Tiempo en Empalmar		⊖			○				
Bajo Costo de Implementación			⊖	⊖					
Temperatura Estable	⊖	⊖			⊖				○
Seguridad					Δ	⊖			⊖
Estructura Resistente							⊖		
Ergonomía								⊖	⊖
Facilidad de Operación						⊖		⊖	
Max Valor de Relación	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Peso/Importancia	190.0	420.0	120.0	120.0	330.0	180.0	90.0	180.0	220.0
Peso Relativo	10.3	22.7	6.5	6.5	17.8	9.7	4.9	9.7	11.9

Figura 33 QFD del Sistema Empalmador

### 3.2 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE DISEÑO

Se consideran los parámetros más importantes para obtener un sistema óptimo asignándole un valor porcentual a cada factor según su importancia, para poder llegar a una solución acertada al problema planteado.

Los factores a considerar en la Matriz Morfológica son los siguientes:

- Tiempo de Proceso: Mide el tiempo de empalme que se demora da máquina. Este tiempo debe ser menor al tiempo actual empleado (3 minutos).
- Temperatura de Empalme: La temperatura debe ser constante y uniforme en el área de empalme, para tener los resultados deseados.
- Seguridad: La seguridad del sistema está enfocada en evitar una falla cuando éste se encuentra en funcionamiento. Esta seguridad implica que todo lo cercano al sistema no debe estar en riesgo, lo que involucra tanto al personal como a las máquinas adyacentes en la línea de producción, esto acarrearía pérdidas de tiempo traduciéndose en costos adicionales de producción. Además la seguridad comprende evitar accidentes, tomando en cuenta el contacto entre el sistema y el personal operativo.
- Rendimiento de la Máquina: El material ha de ser distribuido y transportado de forma sencilla a lo largo de la línea de producción, a una velocidad adecuada sin realizar retrasos.
- Dimensiones: El espacio ocupado se refiere al tamaño del equipo y la zona disponible para la instalación de éste. La adaptabilidad

se refiere a la capacidad del equipo de adaptarse a las limitaciones existentes realizando la menor cantidad de cambios.

- Costo de Materiales: Es la inversión inicial necesaria para la adquisición del equipo, esta incluye transporte, montaje y accesorios de equipos eléctricos necesarios para la funcionabilidad del sistema, además de los elementos estructurales que lo componen.
  
- Resistencia de la Estructura: Tiempo de vida útil del sistema
  
- Ergonomía: La ergonomía se encarga de optimizar los sistemas hombre – máquina buscando la adaptación de la máquina al hombre, preservando a este en su salud. Se debe tomar en cuenta un parámetro importante el cual es diseñar un equipo basado en la ergonomía y comodidad del operario y/o trabajador presente en el proceso que este realiza, tal que no debe perturbar el proceso productivo, ni debe incomodar a los trabajadores al operar la máquina o circular cerca de ella..

Para realizar la evaluación de cada solución propuesta se toma en cuenta la siguiente escala de puntuación:

- Deficiente: 1
- Aceptable: 2
- Bueno: 3
- Muy bueno: 4
- Excelente: 5

Luego, para obtener el valor final, se multiplica la puntuación anterior de cada solución por el asignado en porcentaje y se suman todos los resultados para así obtener el total a comparar entre los distintos sistemas (Ver Tabla 8).

Tabla 8 Características del Sistema

	<b>CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA</b>	<b>SÍMBOLO</b>	<b>PESO</b>	<b>RANGO DE CALIFICACIÓN</b>
1	Tiempo de Proceso	TDP	23	0-230
2	Temperatura de Empalme	TDE	21	0-210
3	Seguridad	SG	17	0-170
4	Rendimiento de la Máquina	RM	14	0-140
5	Dimensiones	DI	12	0-120
6	Costo de Materiales	CDM	5	0-50
7	Resistencia de la Estructura	RET	4	0-40
8	Ergonomía	E	4	0-40
	<b>TOTAL</b>		<b>100</b>	

### 3.2.1 MATRIZ DE DECISIÓN

Se evalúan cada una de las funciones del sistema, para la selección de las alternativas que se tienen para la construcción de las partes de la empalmadora.

Tabla 9 Funciones del Sistema

	<b>FUNCIONES</b>	<b>ESPECIFICACIONES</b>
1	Encender placa térmica	Energizar la fuente de calor para la placa térmica
2	Colocar el rollo en el eje expandible	Colocar la materia prima en el eje
3	Posicionar los rollos en la estructura	Colocar el eje con materia prima en la estructura con la ayuda del polipasto
4	Tensar la lámina del nuevo rollo a través de rodillos	Extender el material a empalmar a través de los rodillos dispuestos en la máquina
5	Colocar adhesivo en materiales a empalmar	Distribuir el adhesivo en el área de empalme
6	Monitorear temperatura	Adquirir datos de las variables que intervienen en el sistema
7	Controlar temperatura	Mantener la temperatura de la placa térmica en un rango de diseño
8	Verificar temperatura	Comprobar la temperatura de diseño
9	Accionamiento de los cilindros neumáticos	Ejecutar el empalme por medio de la placa térmica

➤ ENCENDIDO DE LA PLACA TÉRMICA

Tabla 10 Alternativas para el Encendido de la Placa Térmica

ALTERNATIVAS	DESCRIPCIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<b>Manual</b>	Un operador deberá verificar el estado de la temperatura y encender o apagar las resistencias eléctricas para tratar de mantener constante la temperatura	Pequeño costo  No requiere de elementos adicionales	El proceso es lento  Al entrar en contacto el operador con el medio, puede quemarse/ No asegura temperatura de diseño
<b>Automático</b>	Mediante sensores se obtendrán datos reales, los mismos que permitirán realizar un control ON OFF el mismo que asegurará una temperatura dentro de los rangos de diseño	Fácil de realizar  Precisión	Mayor Costo de implementación  Susceptible a daños por mal uso

Tabla 11 Análisis de Alternativas para el Encendido de la Placa Térmica

ALTERNATIVA	TDP	TDE	SG	RM	DI	CDM	RET	E	TOTAL
<b>Manual</b>	120	100	60	40	90	40	20	30	500
<b>Automático</b>	200	180	150	120	80	10	20	30	790

➤ **COLOCACIÓN DE ROLLO EN EL EJE EXPANDIBLE**

**Tabla 12 Alternativas para la Colocación de Rollo en el Eje Expandible**

ALTERNATIVAS	DESCRIPCIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<b>Manual</b>	Un operador alinea el eje expandible con el rollo de materia prima	Pequeño costo No requiere de elementos adicionales	El proceso no es tan rápido Requiere esfuerzo físico
<b>Automático</b>	Desarrollo de un mecanismo para colocar el eje expandible el mismo que requiere de un control adicional.	Mayor precisión Menor tiempo empleado	Alto Costo de implementación Requiere elementos adicionales

**Tabla 13 Análisis de Alternativas para la Colocación de Rollo en el Eje Expandible**

ALTERNATIVA	TDP	TDE	SG	RM	DI	CDM	RET	E	TOTAL
<b>Manual</b>	200	0	150	120	100	40	30	20	660
<b>Automático</b>	210	0	160	120	60	20	10	20	600

➤ **POSICIONAMIENTO DE ROLLOS EN LA ESTRUCTURA**

**Tabla 14 Alternativas para el Posicionamiento de Rollos en la Estructura**

ALTERNATIVAS	DESCRIPCIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<b>Manual</b>	El operador se encargará de levantar el rollo con el eje y posicionarlo en los mandriles de seguridad.	Pequeño costo No requiere de elementos adicionales	El proceso es lento Requiere gran esfuerzo físico
<b>Semi-Automático</b>	Se contará con	Fácil de	Mayor Costo de

	un polipasto para levantar el eje con el rollo de materia prima, el mismo que debe ser asegurado mediante un operador y liberado al final del proceso por el operador en la posición deseada.	realizar	implementación
		Menor tiempo de proceso	Susceptible a daños por mal uso
<b>Automático</b>	Se contará con un mecanismo autónomo que posicione el eje con la materia prima en el polipasto y que asegure su descarga en la posición deseada sin la ayuda de operadores.	Facil de usar  Aisla al sistema del Operario	Alto Costo de implementación  Alto costo de mantenimiento

**Tabla 15 Análisis de Alternativas para el Posicionamiento de Rollos en la Estructura**

ALTERNATIVA	TDP	TDE	SG	RM	DI	CDM	RET	E	TOTAL
<b>Manual</b>	140	0	40	60	100	40	40	30	450
<b>Semi-Automático</b>	210	0	160	120	80	30	30	30	660
<b>Automático</b>	220	0	160	130	60	10	10	30	620

➤ **TENSAR LA LÁMINA DEL NUEVO ROLLO A TRAVÉS DE RODILLOS**

**Tabla 16 Alternativas para Tensar la Lámina del Nuevo Rollo a través de Rodillos**

ALTERNATIVAS	DESCRIPCIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<b>Manual</b>	Un operador estira la lámina a través de rodillos para tensar el material.	Pequeño costo	El proceso es lento Al entrar en contacto el operador con el medio, puede lastimarse
		No requiere de elementos adicionales	
<b>Automático</b>	Diseño de un mecanismo que tense al material.	Precisión Aísla al sistema del Operario	Alto Costo de implementación Susceptible a daños por mal uso

**Tabla 17 Análisis de Alternativas para Tensar la Lámina del Nuevo Rollo a través de Rodillos**

ALTERNATIVA	TDP	TDE	SG	RM	DI	CDM	RET	E	TOTAL
<b>Manual</b>	180	0	150	120	110	45	30	30	665
<b>Automático</b>	200	0	155	130	80	20	10	30	625

➤ **COLOCAR ADHESIVO EN MATERIALES A EMPALMAR**

**Tabla 18 Alternativas para Colocar Adhesivo en Materiales a Empalmar**

ALTERNATIVAS	DESCRIPCIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<b>Manual</b>	Un operador coloca adhesivo en los materiales a empalmar	Pequeño costo	El proceso no es tan rápido No existe medida estándar en la cantidad de adhesivo
		No requiere de elementos adicionales	



			colocado
<b>Automático</b>	Desarrollo de un mecanismo mediante pistones para la dosificación de adhesivo	Mayor precisión	Alto Costo de implementación
		Optimización de recurso (adhesivo)	Requiere elementos adicionales

**Tabla 19 Análisis de Alternativas para Colocar Adhesivo en Materiales a Empalmar**

ALTERNATIVA	TDP	TDE	SG	RM	DI	CDM	RET	E	TOTAL
<b>Manual</b>	190	0	140	120	110	40	40	30	670
<b>Automático</b>	210	0	160	130	60	10	10	30	610

➤ **CONTROL DE TEMPERATURA**

**Tabla 20 Alternativas para el Control de Temperatura**

ALTERNATIVAS	DESCRIPCIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<b>Semi-Automático</b>	Se medirán las variables de proceso las mismas que generarán un aviso para que el operador encienda o apague las resistencias eléctricas para mantener el rango de temperatura.	Menor complejidad en el diseño	Control no tan preciso
		Menor costo de implementación	Requiere de un operador que verifique los datos durante todo el proceso
<b>Automático</b>	Mediante sensores se obtendrán datos reales, los mismos que permitirán realizar un	Precisión	Mayor Costo de implementación
		Fácil de usar	Susceptible a daños por mal uso

control ON OFF  
el cual que  
asegurará una  
temperatura  
dentro de los  
rangos de  
diseño

**Tabla 21 Análisis de Alternativas para el Control de Temperatura**

ALTERNATIVA	TDP	TDE	SG	RM	DI	CDM	RET	E	TOTAL
<b>Semi-Automático</b>	200	180	120	100	100	40	30	25	795
<b>Automático</b>	220	200	160	130	100	30	30	25	895

➤ **ACCIONAMIENTO DE LOS CILINDROS NEUMÁTICOS**

**Tabla 22 Alternativas para el Accionamiento de los Cilindros Neumáticos**

ALTERNATIVAS	DESCRIPCIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<b>Manual</b>	Un operador accionará el mecanismo de cilindros neumáticos que prensan los materiales a empalmar	Pequeño costo	El proceso no es tan rápido
		Fácil implementación	Requiere un operador
<b>Automático</b>	El mecanismo de cilindros neumáticos se accionará automáticamente y permanecerá el tiempo necesario para empalmar los rollos	Mayor precisión  Menor tiempo empleado	Alto Costo de implementación  Requiere elementos adicionales

**Tabla 23 Análisis de Alternativas para el Accionamiento de los Cilindros Neumáticos**

ALTERNATIVA	TDP	TDE	SG	RM	DI	CDM	RET	E	TOTAL
<b>Manual</b>	190	0	150	120	100	40	20	30	650
<b>Automático</b>	210	0	160	130	70	20	20	30	640

### 3.2.2 SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

De la evaluación morfológica de cada una de las funciones de la máquina, se determinó como mejor solución al problema las siguientes alternativas (Ver Tabla 24):

**Tabla 24 Decisión de Alternativas de las Funciones del Sistema**

FUNCIÓN	ALTERNATIVA
Encendido de la Placa Térmica	Automático
Colocación de Rollo en el Eje Expandible	Manual
Posicionamiento de Rollos en la Estructura	Semi-Automático
Tensor la Lámina del nuevo Rollo a través de Rodillos	Manual
Colocar Adhesivo en Materiales a Empalmar	Manual
Control de Temperatura	Automático
Accionamiento de los Cilindros Neumáticos	Manual

El diseño y construcción de la empalmadora es sencillo, sin componentes complicados y de fácil mantenimiento. Tanto la instalación como la operación de las piezas que componen el equipo pueden ser efectuadas sin muchos contratiempos.

## **CAPÍTULO 4**

### **4. DISEÑO**

#### **4.1 DISEÑO ESTRUCTURAL**

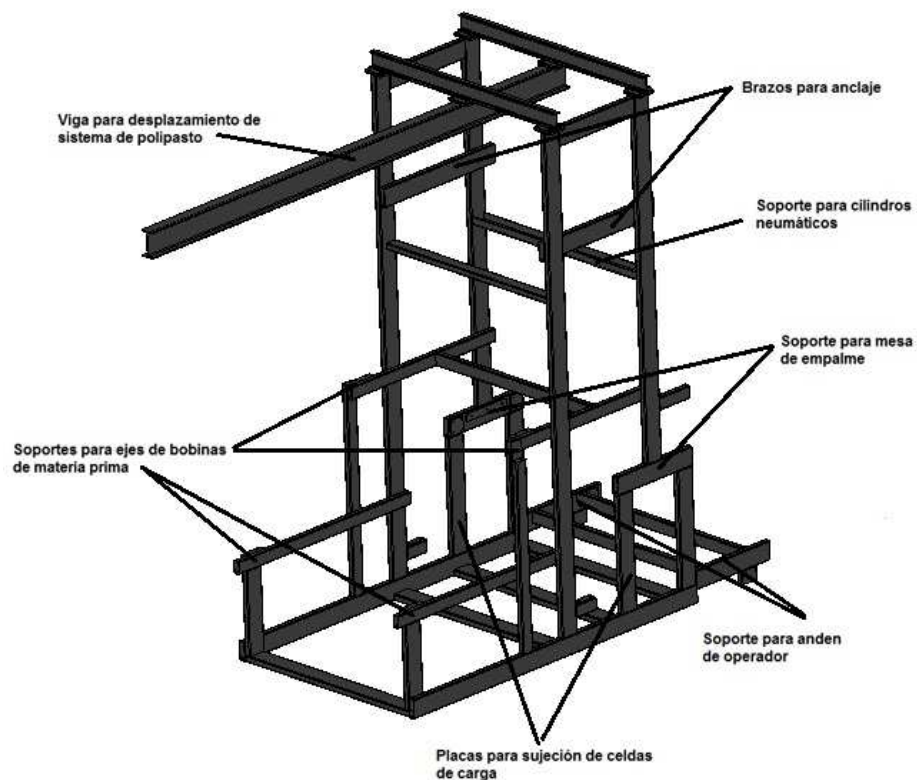
Uno de los aspectos más importantes de una máquina es la estructura que la conforma y se podría considerar incluso como el esqueleto de la misma, puesto que es la encargada del soporte de todos los demás elementos que posee.

Siendo la estructura la que determina los tamaños y espacios para colocar todos los elementos de la máquina, debe cumplir con varios requisitos. Dichos requisitos se han definido a partir del funcionamiento general de la misma, y se describen a continuación:

- Se deberá disponer de al menos dos rollos de materia prima en posición adecuada para proporcionar mayor comodidad al momento del empalme.
- Existirá una distribución de rodillos específica, que permita realizar un control de tensión de la lámina a lo largo del proceso de empalme.
- El operador deberá tener un cómodo acceso a la mesa de empalme para realizar la colocación del adhesivo, previo al accionamiento de las placas térmicas.
- La placa térmica constará de un adecuado mecanismo que permita su movilidad sin que éste ponga en riesgo la seguridad del operador.

- Se dispondrá de un sistema de polipasto, que permita la colocación y extracción de los rollos de materia prima en sus respectivos ejes de desbobinado.
- Constará de espacio adecuado para colocar los mandos de control de los diferentes mecanismos automatizados.

Tomando en cuenta estos requisitos se realizó un diseño preliminar de la forma de la estructura de soporte, mostrado en la Figura 34.



**Figura 34 Forma de la Estructura del Empalmador**

#### *Dimensionamiento a partir de requisitos*

Las dimensiones de la estructura deben estar basadas específicamente en los requisitos, de manera que se proporcione el espacio y altura adecuada dependiendo de las características de los elementos que en ella

se implementarán, a continuación se describen cada uno de los requisitos que se planteó anteriormente:

#### *Posicionamiento de los rollos de materia prima*

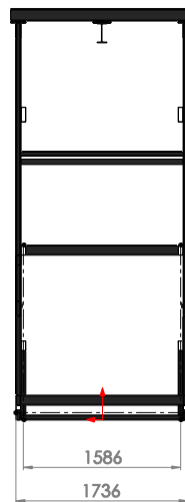
Como ya se explicó en el capítulo 2, para el proceso de fabricación de Láminas Asfálticas se utiliza como materia prima: rollos/bobinas de fibra de vidrio y poliéster. Los mismos que son posicionados en una estructura que los soporta y, mediante un eje expandible, se genera el desbobinado gracias a una tensión aplicada a la lámina.

Las bobinas poseen las siguientes características físicas (sin importar el material de los mismos):

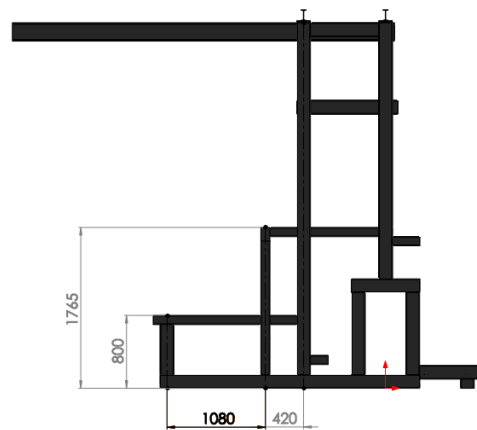
- Diámetro exterior de la bobina: 1170 mm
- Ancho de bobina: 1000 mm
- Diámetro interior de la bobina: 155 - 170 mm
- Peso máximo: 165 kg
- Velocidad de desbobinado: 50 m/min

Tomando en cuenta las características descritas y el hecho de que uno de los requisitos es que se pueda posicionar al menos dos bobinas de materia prima, se ha definido las dimensiones que se observa en la Figura 35.

En la Figura 35 (a) se describen dos parámetros: el ancho total de la máquina y el ancho que tendrá exactamente los puntos de sujeción de los ejes expandibles; es decir el lugar donde se colocarán los respectivos mandriles en donde se acoplan los mencionados ejes (como se explicó en el capítulo 2). Por otro lado en la Figura 35 (b) se puede observar las dimensiones de los elementos estructurales que serán los que soporten las respectivas cargas generadas por los conjuntos de eje, mandril y bobina de materia prima.



(a)



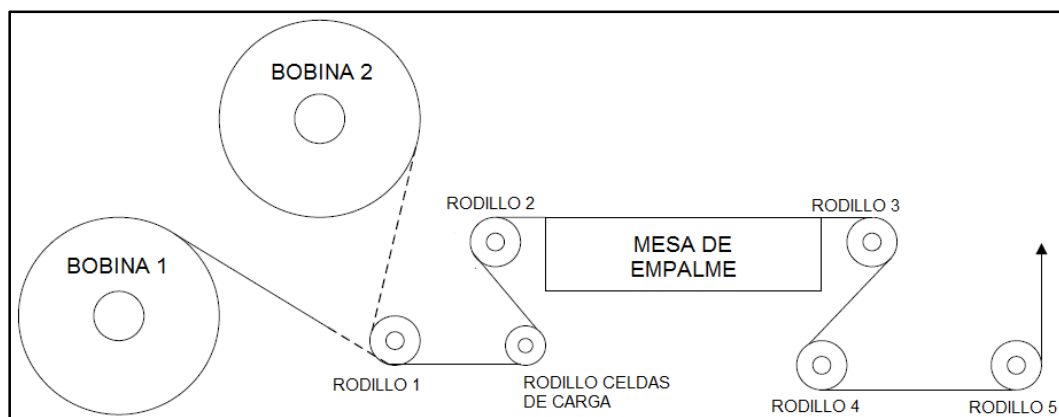
(b)

**Figura 35 Dimensiones de la Estructura para el Posicionamiento de las Bobinas de Materia Prima. (a) Vista lateral. (b) Vista frontal.**

#### *Distribución de Rodillos de transporte*

Como ya se explicó anteriormente, el control de tensión de la lámina es un aspecto fundamental a lo largo de toda la línea de producción. Para el caso del proceso de empalme se ha definido dimensiones de posicionamiento de acuerdo a los siguientes parámetros:

- El ángulo que existe entre la lámina de materia prima y el eje vertical, previo al ingreso a la mesa de empalme; debe ser de  $20^\circ$  (como se muestra en la Figura 36).
- La lámina de materia prima debe mantenerse paralela al eje horizontal previo y posterior al paso por la mesa de empalme (como se muestra en la Figura 36).



**Figura 36 Diagrama de Distribución de Rodillos para Sistema Control de Tensión**

Tomando en cuenta los parámetros descritos, se ha definido las posiciones exactas de los rodillos que conformarán la máquina, las cuales se las ubica con coordenadas en el plano frontal de la máquina tomando como origen el extremo inferior izquierdo de la misma:

- ✓ Bobina 1: (200 , 75) mm
- ✓ Bobina 2: (1825 , 1251) mm
- ✓ Rodillo 1: (420 , 1753) mm
- ✓ Rodillo celdas de carga: (395 , 2293) mm
- ✓ Rodillo 2: (1125 , 2175) mm
- ✓ Rodillo 3: (1125 , 2775) mm
- ✓ Rodillo 4: (200 , 2775) mm
- ✓ Rodillo 5: (200 , 3510) mm

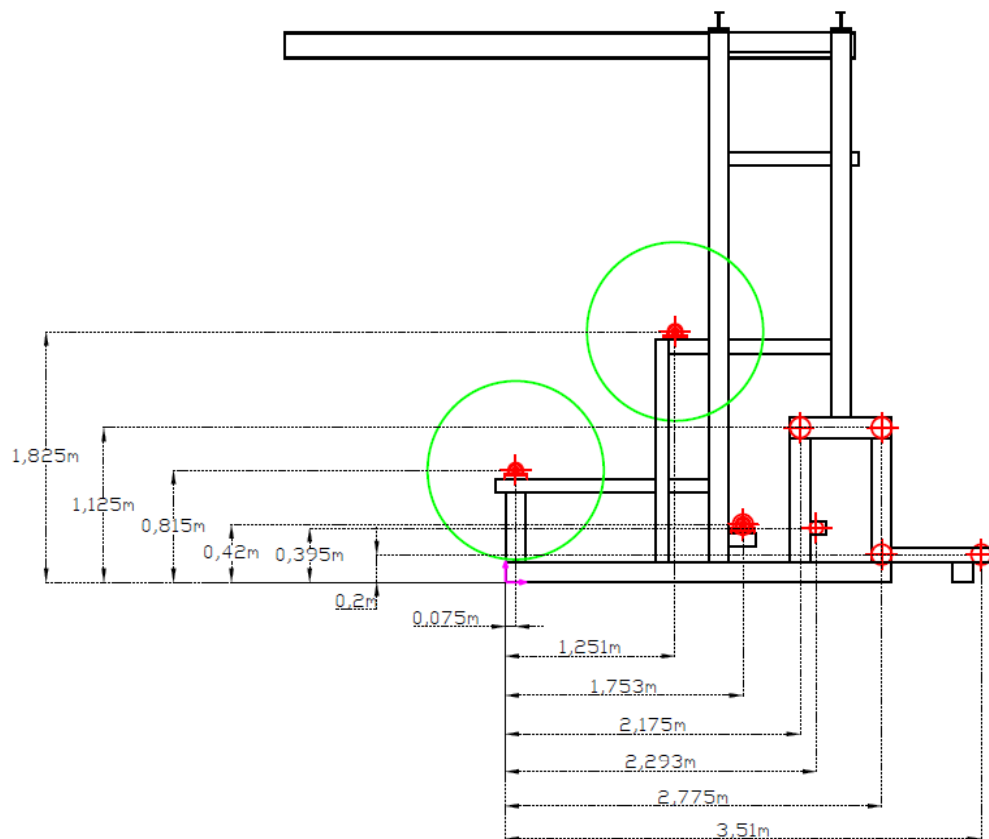


En la Figura 37 se puede observar el posicionamiento de las bobinas de materia prima y de los rodillos de transporte de acuerdo a las dimensiones anteriormente descritas.

#### *Comodidad del operador*

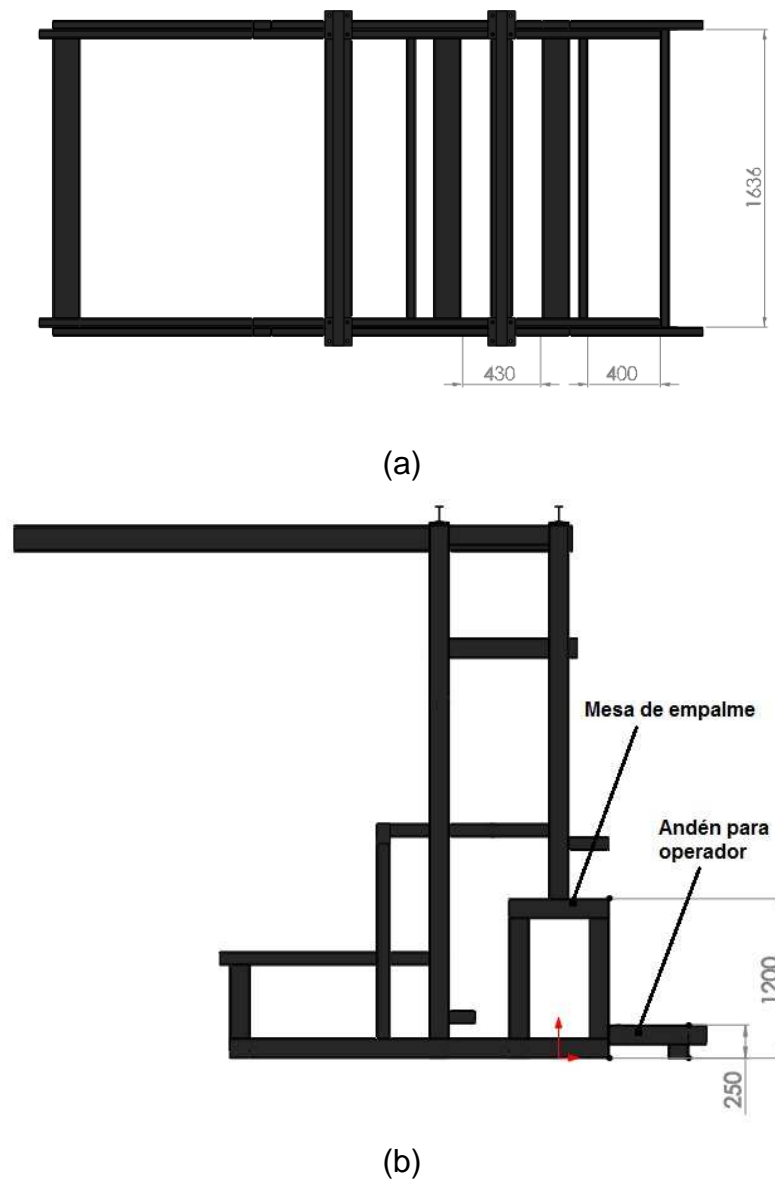
Puesto que el empalme y posterior unión de los extremos de las láminas de materia prima se realizan mediante la aplicación de elevadas temperaturas, con la finalidad de lograr una correcta adhesión de las fibras, es importante considerar la comodidad así como la seguridad del operador.

Los aspectos mencionados han influido para el correcto dimensionamiento tanto de la mesa de empalme, como del andén donde el operador se posiciona para llevar a cabo dicho procedimiento; como se observa en la Figura 38.



**Figura 37 Layout Empalmador Distribución de Rodillos**

Se ha dispuesto que el área de empalme esté definida de un largo de 1000 mm por un ancho de 300 mm, tomando en cuenta que esas dimensiones satisfacen las correspondientes al ancho de la lámina de materia prima (1000 mm) y a una distancia de empalme o emparejamiento adecuada (300 mm) para generar una correcta unión. Considerando lo dicho y las características de la máquina ya descritas hasta el momento, se ha definido de igual manera las dimensiones de la mesa de empalme en: largo = 1630 mm, ancho = 406 mm. El diseño propiamente dicho de la mesa de empalme se lo realizará en apartados posteriores.



**Figura 38 Dimensionamiento para Mesa de Empalme y Andén de Operador. (a) Vista Superior. (b) Vista Frontal.**

#### *Mecanismo para accionamiento y sujeción de la placa térmica*

Como ya se explicó en el capítulo 2, para la aplicación de la placa térmica sobre la fibra de materia prima se ha dispuesto de un sistema de dos cilindros neumáticos con su respectivo control de accionamiento. La placa se sujetará a los vástagos de dichos cilindros, y éstos a su vez a la estructura de la máquina.

Para definir las dimensiones y distancias a las que se sujetarán los cilindros se ha considerado los siguientes aspectos:

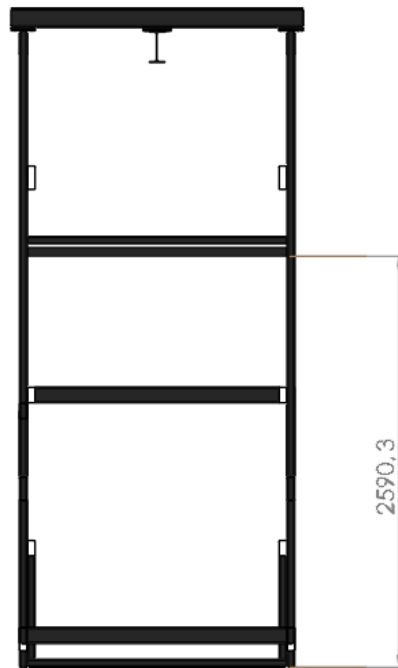
- Dimensiones de los cilindros
- Carrera de los vástagos
- Dimensiones de la placa térmica
- Tipo de sujeción

Los parámetros mencionados se han definido a partir de un respectivo diseño, (que se describirán más adelante) y mediante los cuales se ha podido definir las dimensiones que se muestran en la Figura 39.

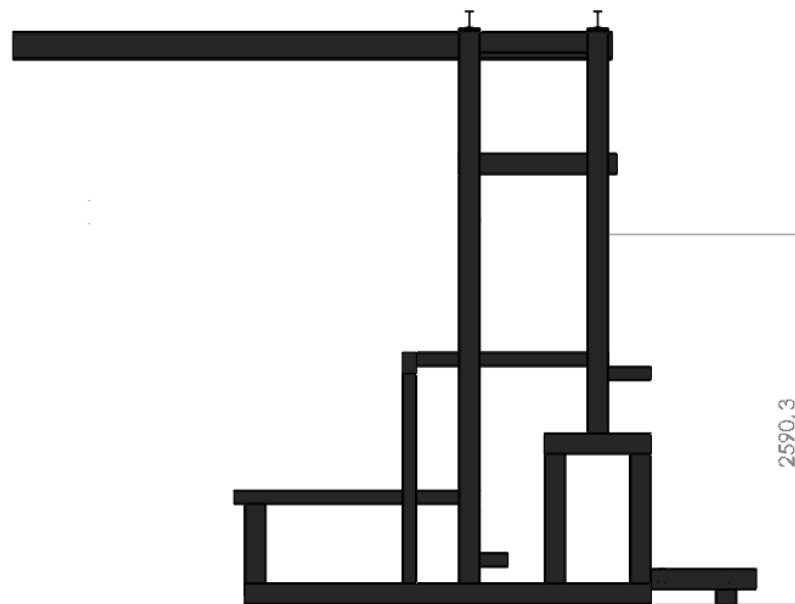
#### *Sistema de Polipasto*

Para el sistema de polipasto (tecle) se definió la implementación de una barra IPE 200 dispuesta a lo largo de la máquina en su parte superior, la misma que permita el desplazamiento del tecle para realizar el montaje y desmontaje de las bobinas de materia prima.

Los aspectos que influyeron en el dimensionamiento de la estructura para la implementación del sistema de polipasto, fueron: el diámetro de las bobinas de materia prima y las especificaciones técnicas del tecle seleccionado. En la Figura 40 se puede observar la disposición de la barra IPE 200.

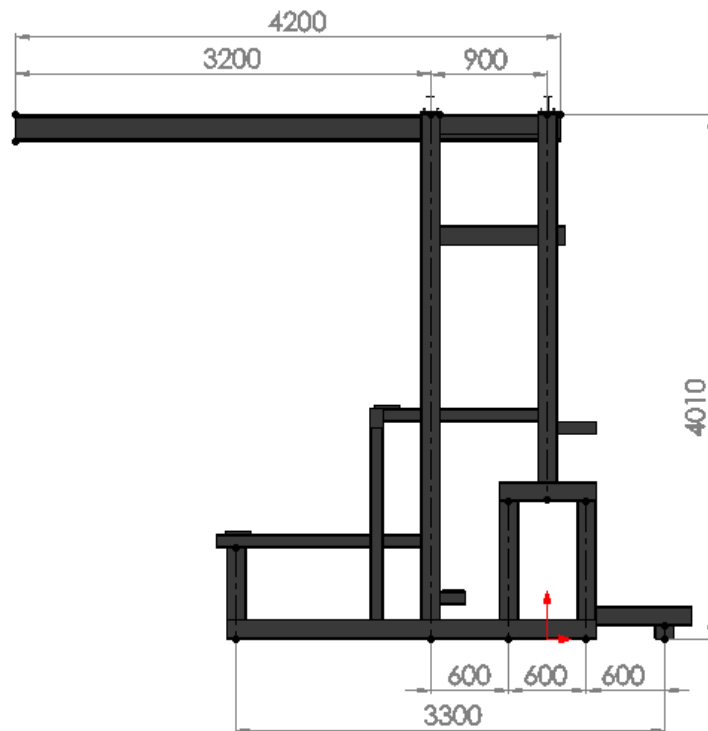


(a)



(b)

**Figura 39 Dimensiones de la Estructura para Sujeción de Cilindros Neumáticos. (a) Vista lateral. (b) Vista frontal.**



**Figura 40 Dimensiones de Estructura y Viga IPE para Sistema de Polipasto (vista frontal).**

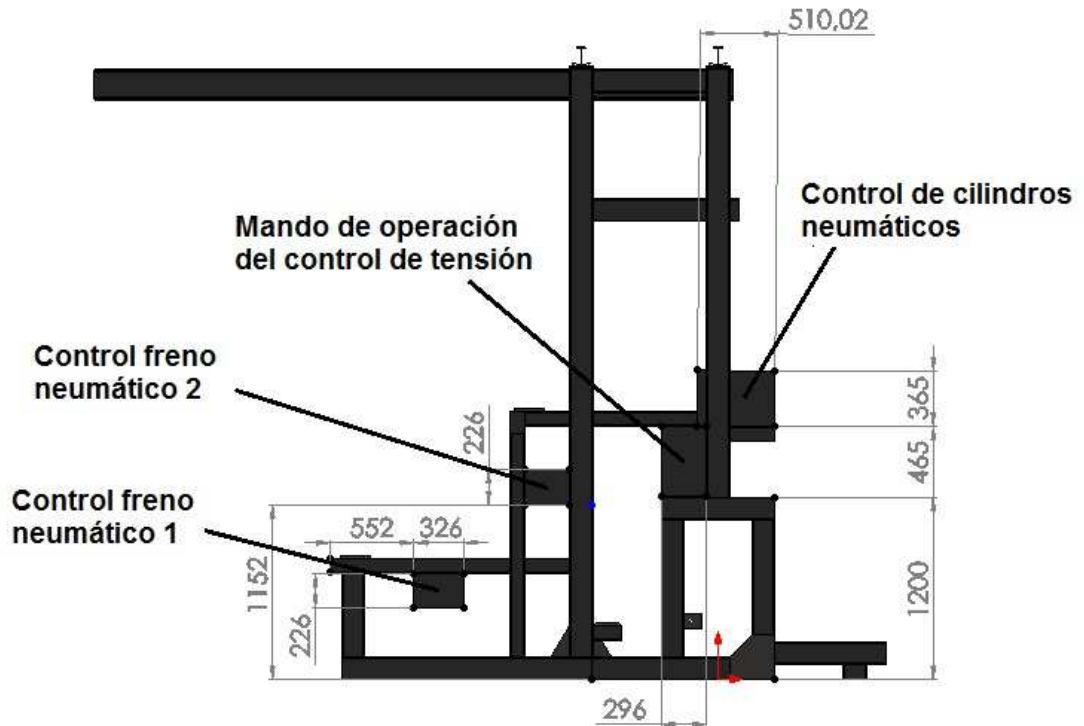
*Espacios adecuados para mandos de control*

Puesto que todos los mecanismos de los que consta la máquina requieren controles de varios tipos, se ha definido la colocación de platinas de acero de 3mm de espesor en los espacios más prudentes para la sujeción de los mismos, tomando en cuenta parámetros como:

- Distribución del cableado
- Comodidad de manipulación por parte del operador
- Protección de los dispositivos utilizados
- Estética

En la Figura 41 se puede visualizar la distribución de espacios para las respectivas cajas de control. Es prudente mencionar que estos elementos estructurales no incidirán en mayor magnitud al momento de realizar los

cálculos de diseño, por ser de masas despreciables en relación al resto de elementos de máquina.



**Figura 41 Distribución de Espacios para Mandos de Control**

## 4.2 DISEÑO DEL SISTEMA TÉRMICO

Como se indicó en el capítulo 2, el sistema térmico que utilizará para la consolidación del material adhesivo para el empalme de las fibras, está conformado de dos subsistemas, cada uno de los cuales conlleva su propio procedimiento de diseño.

#### 4.2.1 DISEÑO DE LA PLACA TÉRMICA

La placa térmica móvil será la encargada de realizar el planchado del empalme de las fibras de materia prima, por lo que será tratado como un sub-ensamble dentro del total de la máquina.

##### *Dimensionamiento de la placa térmica móvil*

El primer parámetro a definir dentro del diseño, es el tamaño de la placa móvil, para lo cual se deben determinar las dimensiones más óptimas de la misma. Para esto se han considerado varios aspectos, que son:

- Espaciamiento destinado para la mesa de empalme: como se describió en trazados anteriores, las dimensiones definidas en la estructura de la máquina, para el posicionamiento de la mesa de empalme es de: 1636 mm de largo por 430 mm de ancho. Lo que nos deja un área total para maniobra de aproximadamente 0.7 m<sup>2</sup>.
- Área de emparejamiento de las fibras: éste parámetro está establecido actualmente y está definido por las siguientes dimensiones: 1000 mm de largo (ancho de la lámina de fibra de materia prima) por 300 mm de ancho, lo que da un área total de 0.3 m<sup>2</sup>.

Después de analizar los puntos mencionados, se ha determinado las dimensiones de la placa móvil así: 1200 mm de largo por 300 mm de ancho. Con el objetivo de que se cubra el área estratégica para generar el empalme de las fibras, considerando una correcta distribución del calor sobre el área de acción del material adhesivo.

En cuanto al espesor de la placa móvil, se lo ha definido posterior a un cálculo térmico, para el cual en primer lugar se debe determinar la temperatura óptima a la que debe ser calentada la misma para generar la consolidación del material adhesivo. Dicha temperatura se ha definido en



base a los datos recogidos del proceso que se lleva a cabo en la actualidad, realizando la medición de la temperatura en la superficie de las planchas rústicas y de la mesa de empalme justo al momento previo de realizar el planchado de las fibras; así como también la temperatura en la superficie de las mismas una vez realizado el empalme. Los datos obtenidos se pueden observar en la Tabla 25.

Con los datos de temperatura y tiempo obtenidos, y después de analizar aspectos como las pérdidas de calor en el ambiente se definió la temperatura de trabajo como: “la temperatura a la cual se encuentra la superficie que estará en contacto con la fibra de materia prima”. Y se concretaron los siguientes valores:

- Temperatura de trabajo de la placa móvil: 320 °C.
- Temperatura de trabajo de la mesa de empalme: 150 °C.

**Tabla 25 Datos obtenidos en la Medición de Parámetros del Procedimiento de Empalme Actual.**

<b>Elemento</b>	<b>Medio de calentamiento</b>	<b>Tiempo de exposición</b>	<b>Temperatura medida</b>
Planchas rústicas	Soplete de gas industrial	40 min	380 °C
Mesa de empalme	Resistencias eléctricas tipo U	35 min	200 °C
Fibras de vidrio empalmadas	Aplastamiento mediante planchas y mesa	2 min	150 °C

Una vez obtenidos los datos de temperatura se procede a definir el espesor que deberá tener la placa móvil, considerando evitar deformaciones o pandeo por dilatación debido a la temperatura. Para lo cual es necesario también seleccionar el material adecuado.

Como es obvio, el material del que estará conformada la placa será un tipo de acero, debido a su elevada resistencia a altas temperaturas. En la Tabla 26 se pueden observar las opciones posibles del material para la fabricación de la placa móvil.

Se ha concluido que la placa tendrá un espesor de 1 pulgada (equivalente a 25.4 mm), con la finalidad de minimizar el pandeo de la misma tomando en cuenta que la temperatura a la que estará expuesta es relativamente elevada.

**Tabla 26 Propiedades Mecánicas de los Materiales para la Fabricación de la Placa Térmica Móvil**

<b>Material</b>	<b>Módulo de Elasticidad</b>	<b>Conductividad Térmica</b>	<b>Calor específico</b>	<b>Coef. Lineal de expansión Térmica</b>
Acero A36	200 GPa	54 (W / m°k)	0.113 (kcal / kg°C)	12.0 x 10 <sup>-6</sup> (1/°C)
Acero Inoxidable	193 GPa	30 (W / m°k)	0.113 (kcal / kg°C)	17.3 x 10 <sup>-6</sup> (1/°C)
Acero 1020	207 GPa	100 (W / m°k)	0.113 (kcal / kg°C)	11.7 x 10 <sup>-6</sup> (1/°C)

Fuente: Askeland, D. (1998). *Ciencia e Ingeniería de los Materiales* (p. 396). México.

Para poder calcular la deformación que tendrá la placa, al exponerla a la temperatura de trabajo nos basaremos en la ecuación 23; la cual ayudará a

pronosticar el desplazamiento en las dimensiones de la placa debido a la dilatación de la misma.

$$\Delta l = l_f - l_o = \alpha l_f \Delta T \quad (23)$$

Donde:  $\Delta l$  es el desplazamiento por dilatación,  $\alpha$  es el coeficiente de dilatación térmica del material,  $l_o$  es la dimensión inicial del material y  $\Delta T$  es la variación de temperatura debido al calentamiento.

Se calcula entonces el porcentaje de dilatación para los diferentes tipos de acero. Al reemplazar los datos para calcular la variación en el espesor, se tiene:

$$l_f - 25.4 = (12 * 10^{-6}) l_f (320^\circ - 20^\circ)$$

$$l_f - 25.4 = 0.0036 l_f$$

$$l_f = 25.492$$

$$\Delta l = 25.492 - 25.4$$

$$\Delta l = 0.092 \text{ mm}$$

En la Tabla 27 se puede visualizar los resultados obtenidos para cada tipo de acero.

**Tabla 27 Propiedades Mecánicas de Aceros**

<b>Acero</b>	<b>Largo</b>	<b>Ancho</b>	<b>Espesor</b>	<b>Porcentaje de dilatación Volumétrica</b>
Acero A36	4.34 mm	1.08 mm	0.092 mm	$4.72 \times 10^{-6} \%$
Acero Inox.	6.26 mm	1.57 mm	0.133 mm	$14.3 \times 10^{-6} \%$
Acero 1020	4.23 mm	1.06 mm	0.090 mm	$4.41 \times 10^{-6} \%$

Fuente: Askeland, D. (1998). *Ciencia e Ingeniería de los Materiales* (p. 396). México.

El porcentaje de dilatación volumétrica, se obtiene a partir de la relación entre el volumen total de la placa y el volumen calculado a partir de las variaciones en las dimensiones debido a la dilatación. Con los resultados descritos se puede asegurar que el material más óptimo para la fabricación de la placa es el acero 1020, siguiéndole el acero A36; por lo que el factor que definirá la selección será el tipo de aplicación y el precio del material.

Puesto que la aplicación no requiere mayor calidad en el planchado, y también debido a que el acero A36 posee un precio más conveniente y es de fácil obtención en el mercado, se lo ha seleccionado como el material con el que se fabricará la placa térmica móvil.

#### *Sistema de calefacción*

Como se ha mencionado anteriormente, la fuente de energía que proporcionará el calor requerido para calentar la placa térmica móvil, será la energía eléctrica. La cual por medio de, la conexión de resistencias eléctricas correspondientes a una potencia óptima y la superposición de las mismas sobre la placa, se producirá la transferencia de calor por conducción.

Para esto es necesario dimensionar la potencia requerida para alcanzar la temperatura de trabajo definida para la placa móvil. Por lo que nos basaremos en la ecuación 24; la cual nos permitirá determinar el calor requerido para posteriormente dimensionar la potencia nominal de las resistencias eléctricas.

$$\text{calorrequerido} = (\text{calorespecífico})(\text{masa})\Delta T \quad (24)$$

Reemplazamos datos en la ecuación:

$$\text{calorrequerido} = \left(0.113 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}\right) (80 \text{ kg})(320 - 20) ^\circ\text{C}$$

$$\text{calorrequerido} = 2712 \text{ kcal}$$

Para poder determinar la potencia, realizamos las respectivas transformaciones:

$$1 \text{ kcal} = 4184 \text{ J} \quad (25)$$

$$2712 \text{ kcal} = 11347008 \text{ J} = 11347008 \text{ W} \cdot \text{s}$$

Una vez que se ha calculado la energía necesaria para calentar la placa a la temperatura requerida, se procede a dimensionar la potencia de las resistencias tomando en cuenta el tiempo en el que se desea llegar a la temperatura de trabajo. Puesto que el proceso de empalme y unión de las fibras de materia prima se lleva a cabo aproximadamente cada 2 horas, actualmente se destina 40 minutos para el calentamiento de las planchas rústicas (como se indica en la Tabla 25). Pero esto genera problemas en los costos y tiempos de producción, por lo que se ha definido un tiempo promedio de 15 minutos para el calentamiento de la placa hasta la temperatura de trabajo; por lo tanto se obtiene que:

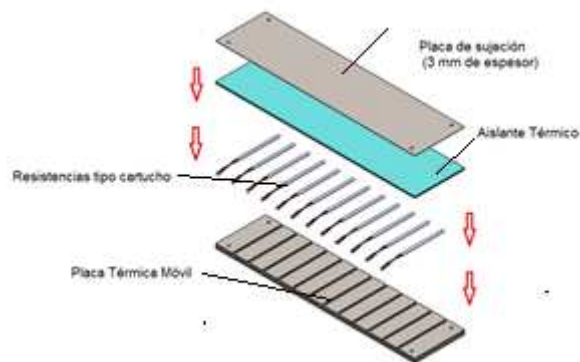
$$\text{Potenciarequerida} = \frac{11347008 \text{ W} \cdot \text{s}}{15 \text{ min}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \quad (26)$$

$$\text{Potenciarequerida} = 12607.79 \text{ W}$$

Ya que se ha calculado la potencia eléctrica total necesaria para calentar la placa móvil, entonces se puede definir el método de calefacción que se utilizará. El elemento más utilizado para la transferencia de calor a elevadas temperaturas sin duda son las resistencias eléctricas industriales,

de las cuales existen varios tipos y presentaciones. Para el caso de ésta tesis se ha seleccionado las *resistencias tipo cartucho*, de las que se habló en el capítulo 2. Como se pudo conocer, las resistencias tipo cartucho poseen una forma cilíndrica y sus dimensiones exactas son: 1/2" de diámetro por 10" de largo. Su potencia nominal es de 1000 W, por lo que se necesitarían 12 unidades para llegar a la potencia requerida.

En la Figura 42 se describe el posicionamiento de las resistencias en la placa térmica móvil, para lograr una transferencia de calor óptima en toda la superficie de la misma.



**Figura 42 Ensamble Placa Térmica Móvil**

Para la sujeción de las resistencias dentro de la placa móvil, se ha dispuesto de una placa delgada de acero de 3mm de espesor, a manera de tapa, la misma que se encuentra ajustada mediante el uso de pernos de 3/8". Con la finalidad de evitar la disipación de potencia en dirección opuesta a la requerida, se ha colocado un aislante térmico entre las dos placas metálicas, como se observa en la Figura 42.

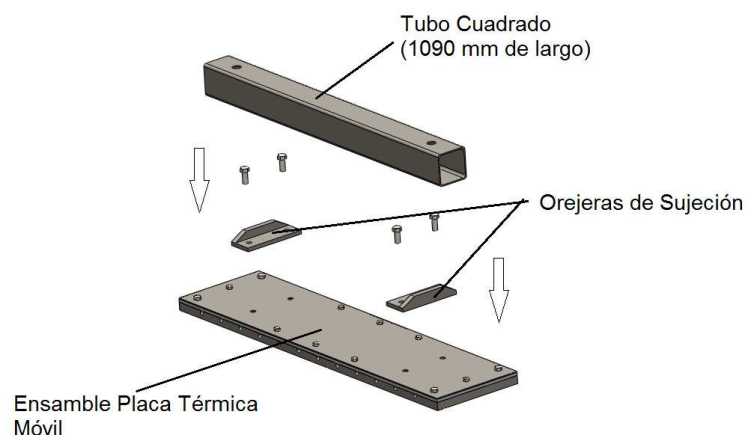
El diseño eléctrico así como el conexionado de las resistencias tipo cartucho se analizarán más adelante.

### *Ensamble para sujeción de la placa térmica móvil*

Para conseguir el planchado de las fibras, es necesario darle movilidad a la placa térmica por lo que se ha dispuesto la utilización de dos cilindros neumáticos (en el siguiente apartado se describe el procedimiento de selección de los mismos). Por lo que se requiere de un acople que nos permita realizar la sujeción de la placa térmica hacia los cilindros. Ya que para el diseño de dicho acople no se realizaron cálculos, la idea se generó en base a dos criterios:

- Comodidad en el ajuste de los vástagos.
- Mayor aprovechamiento de la presión generada por los cilindros.

Por lo que la opción más adecuada consistió en la unión de un tubo cuadrado de acero, el cual consta de dos perforaciones donde ingresan los vástagos de cada cilindro; y dos orejeras construidas a partir de un ángulo de acero. Lo que permitiera a la vez sujetar la placa térmica mediante cuatro pernos dispuestos en la superficie plana de los ángulos, como se indica en la Figura 43, y pudiera entonces ser desmontable.



**Figura 43 Sub-ensamble para Sujeción de la Placa Térmica Móvil**

## 4.2.2 DISEÑO DE LA MESA DE EMPALME

La mesa de empalme tiene como función la de soportar el planchado de las fibras, como también el de proporcionar el calor adecuado para que se genere la consolidación del material adhesivo.

### *Dimensionamiento de la mesa de empalme*

Las dimensiones de la mesa de empalme están definidas en su totalidad por el espacio destinado en la estructura de la máquina, por lo que se tiene: 430mm de ancho por 1636mm de largo. Pero existe una consideración extra, puesto que la lámina de materia prima estará en constante rozamiento con la mesa, es importante la geometría de la misma. Por ésta razón se ha optado por un procedimiento de doblado de la placa de acero destinada para la fabricación de la mesa de empalme, lo que permite obtener una superficie totalmente plana y eliminar aristas de ángulos rectos que puedan ocasionar cortes en la lámina de materia prima. En la Figura 44 se puede observar la disposición que tendrá la mesa de empalme.

En cuanto al espesor de la mesa de empalme se lleva a cabo el mismo procedimiento que se realizó con respecto a la placa térmica móvil, considerando la temperatura de trabajo y el material de la misma.

Por lo tanto fijamos entonces los parámetros:

- Temperatura de trabajo: 150°C
- Material: acero A36
- Espesor:  $\frac{1}{2}$ " = 12.7 mm

Tomando como referencia los datos expuestos, los reemplazamos en la ecuación 23, de la siguiente forma:

$$l_f - 12.7 = (12 * 10^6)l_f(150^\circ - 20^\circ)$$

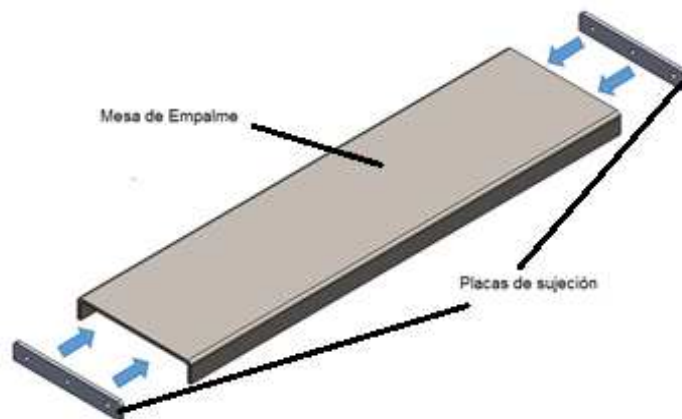


$$l_f - 12.7 = 0.00156l_f$$

$$l_f = 12.7198$$

$$\Delta l = 12.7198 - 12.7$$

$$\Delta l = 0.0198 \text{ mm}$$



**Figura 44 Ensamble de la Mesa de Empalme**

### *Sistema de Calefacción*

De igual forma que con la placa térmica móvil, se deberá realizar la transferencia de calor por medio de la superposición de resistencias eléctricas en la mesa de empalme. Por lo tanto se procede a calcular la energía requerida para generar dicho efecto, para lo cual se utilizará nuevamente la ecuación 24, reemplazando los datos correspondientes al caso.

$$\text{Calorrequerido} = \left(0.113 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}\right) (90 \text{ kg})(170 - 20) ^\circ\text{C}$$

$$\text{Calorrequerido} = 1525.5 \text{ kcal}$$

$$\text{Calorrequerido} = 6382692 \text{ W}\cdot\text{s}$$

Se procede entonces a dimensionar la potencia necesaria para alcanzar la temperatura deseada en un tiempo determinado, el cual se ha definido de 10 minutos.

$$\text{Potencia requerida} = \frac{5162888.64 \text{ W}\cdot\text{s}}{10 \text{ min}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}}$$

$$\text{Potencia requerida} = 10637.82 \text{ W}$$

Una vez que se ha calculado la potencia requerida, se debe seleccionar el tipo de resistencia eléctrica a utilizar. Se definió que la opción más adecuada para la calefacción de la mesa de empalme son las resistencias tipo U, debido a que su conexión y sujeción sería mucho más simple que utilizar las resistencias tipo cartucho. Por lo tanto se utilizarán 3 resistencias eléctricas tipo U de 3.6 kW cada una, para alcanzar la potencia requerida, y las cuales se dispondrán bajo la mesa de empalme mediante un sistema de sujeción adecuado.

### **4.3 DISEÑO DEL MECANISMO DE PRENSADO**

#### **4.3.1 SISTEMA NEUMÁTICO**

##### *Requisitos y Parámetros de Diseño*

El sistema neumático debe proporcionar una garantía de seguridad, fiabilidad y reducción de costos.

Se considera por seguridad en el circuito válvulas anti retorno que no permita que la placa térmica caiga bruscamente cuando el sistema eléctrico o neumático se haya desconectado por cualquier falla.

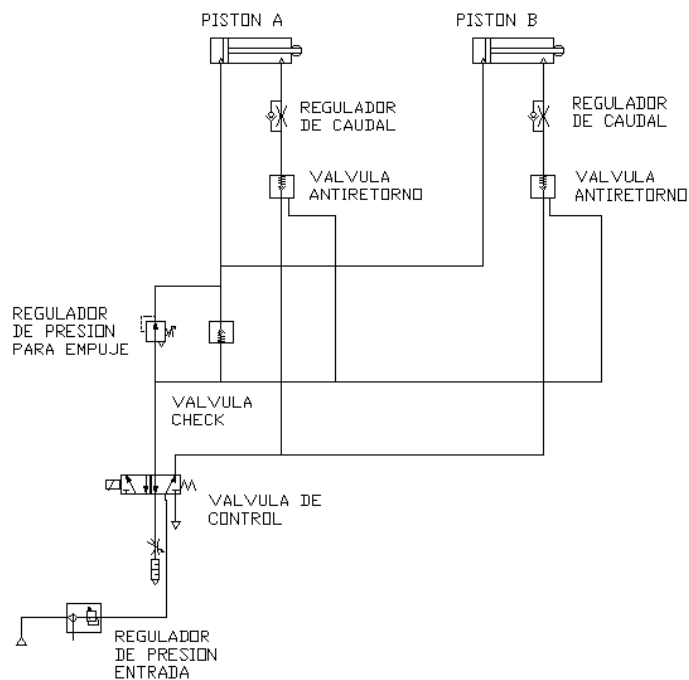
El sistema neumático se compone de dos cilindros de doble efecto, una electroválvula, válvulas anti retorno, reguladores de caudal, regulador de presión, válvula check y una unidad de mantenimiento.

Para el diseño de nuestra máquina contamos con los siguientes parámetros de funcionamiento:

- Presión Mínima de trabajo: 2 bar
- Fuerza de Trabajo: 981 N
- Recorrido de cada Cilindro: 500 mm

### *Diseño del Circuito Neumático*

En base a los requerimientos y parámetros de diseño para la máquina se propone el siguiente Circuito Neumático.



**Figura 45 Circuito Neumático**

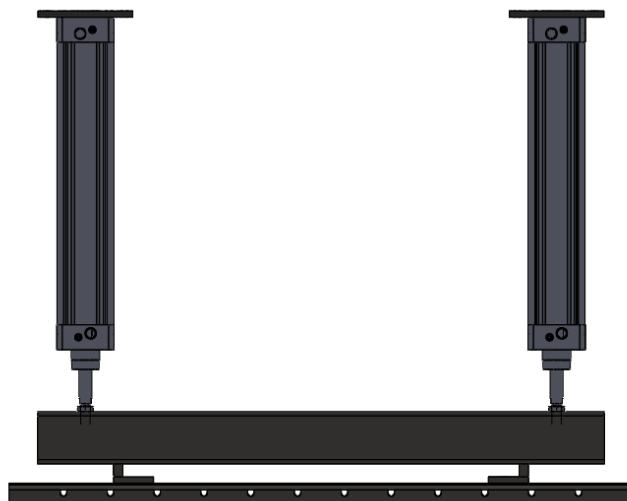
### 4.3.2 CÁLCULO Y SELECCIÓN DEL CILINDRO NEUMÁTICO

El cilindro debe ser capaz de soportar el peso y subir la placa térmica después de realizar el empalme. Para el diseño se utiliza dos cilindros para que el peso se divida y tenga una mejor estabilidad la placa (Ver Figura 46).

La fuerza máxima del cilindro depende, de la presión de servicio máxima admisible y de la superficie efectiva.

$$F = P \cdot A$$

La fuerza de retroceso está dada por la presión multiplicada por el área neta del pistón. El área neta es el área del émbolo menos el área del vástago.



**Figura 46 Sujeción de la Placa Térmica con dos Cilindros Neumáticos**

*Peso de la Placa Térmica (Fuerza F)*

Masa de la Placa Térmica:  $m = 100 \text{ kg}$

$$F = m * g$$

$$F = 100 \text{ (kg)} * 9.81 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)$$

$$F = 981 \text{ N}$$

### *Presión de Servicio (P)*

La presión de trabajo es:

$$P = 6 \text{ bares}$$

$$P = 600\,000 \text{ Pa}$$

### *Diámetro de los Cilindros*

Como se utilizará dos cilindros neumáticos, la fuerza se divide para dos:

$$F = 490.5 \text{ N}$$

$$A = \frac{F}{P}$$

$$A = \frac{490.5 \text{ (N)}}{600\,000 \text{ (Pa)}}$$

$$A = 8.175 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$D = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}}$$

$$D = 0.032 \text{ m}$$

$$D_{\text{min}} = 32 \text{ mm}$$

Se selecciona cilindros de la marca Festo.

*Datos Técnicos*

Diámetro del Émbolo: 100 mm

Diámetro del Vástago: 25 mm

Carrera: 500 mm

Funcionamiento: Doble Efecto

Amortiguación: Amortiguación Regulable en Ambos Lados

Presión de trabajo: 0.15 a 12 Bares

Se determina la fuerza de retroceso que se tendrá.

$$F_{RETROCESO} = P \cdot (A_{EMBOLO} - A_{VASTAGO})$$

$$F_{RETROCESO} = 600\,000 * \frac{\pi * (0.1^2 - 0.025^2)}{4}$$

$$F_{RETROCESO} = 4417.86 \text{ N}$$

Como son dos pistones

$$F_{RETROCESOTOTAL} = 8835.73 \text{ N}$$

Factor de Seguridad

$$n = \frac{8835.73}{981} \approx 9$$

Los cilindros podrán hacer la fuerza de retroceso necesaria para subir la placa térmica, se escoge un factor de seguridad de 9 por el hecho de que la placa estará trabajando a una temperatura entre 300 °C y 320 °C.

#### 4.4 DISEÑO DE RODILLOS DE TENSIÓN

A fin de realizar el diseño de los rodillos de paso de la lámina de materia prima, se toma como dato base para los cálculos la consideración el diámetro nominal de 6 pulgadas que deben cumplir los rodillos y las longitudes, requerimientos determinados por la empresa de manera que se mantenga concordancia con la dimensión de todos los rodillos de paso existentes en la línea de laminación.

Se procede a comprobar si el diámetro establecido de seis pulgadas puede soportar la tensión de la armadura tanto de fibra de vidrio como de poliéster, los cuales se encuentran descritos en la Tabla 28 para cada tipo de materia prima.

De acuerdo a la disposición de la lámina en los rodillos de entrada salida, se puede apreciar que la reacción que se originará en estos rodillos corresponde al doble de la tensión de la lámina, lo que debe ser considerado en los cálculos de diseño.

**Tabla 28 Tensión Máxima de Rotura de los Diferentes Tipos de Materia Prima**

<b>Material</b>	<b>Tensión máxima de rotura</b>
Fibra de Vidrio (Texbond R50)	4800 N
Fibra de Poliéster (Texbond R120)	6000 N
Fibra de Poliéster (Texbond R180)	7000 N

Fuente: especificaciones de producto de la empresa fabricante del material de armadura POLITEX.

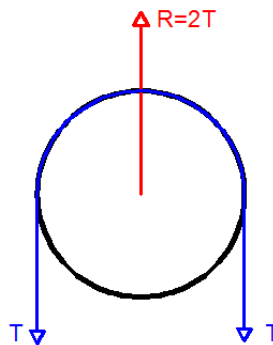


Figura 47 DCL Rodillo y Lámina.

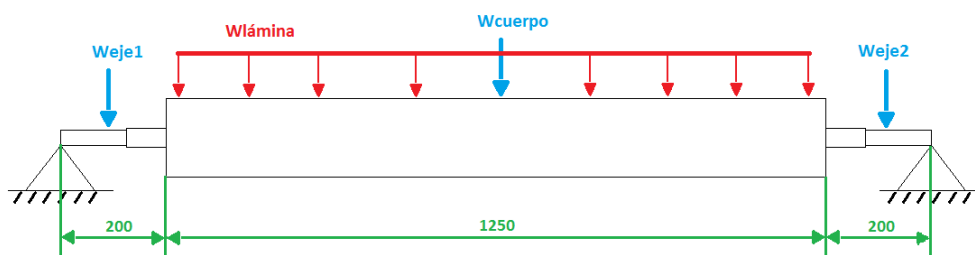


Figura 48 Esquemas de Fuerzas de Rodillo General.

### Fuerzas

Los datos del volumen de los elementos que componen a los rodillos de entrada y salida han sido tomados del software de simulación SOLIDWORKS para una mejor aproximación en base a sus geometrías.

$$\rho_{eje} = \rho_{rodillo} = \rho_{placa} = \rho_{Acero} = 7860 \frac{kg}{m^3}$$

$$W_{eje} = V_{eje} * \rho_{eje} * g = 1.68 * 10^{-4} m^3 * 7860 \frac{kg}{m^3} * 9.8 \frac{m}{s^2} = 12.94 N$$

$$W_{rodillo} = V_{rodillo} * \rho_{rodillo} * g = 2.39 * 10^{-3} m^3 * 7860 \frac{kg}{m^3} * 9.8 \frac{m}{s^2} = 184.1 N$$



$$W_{placa} = V_{placa} * \rho_{placa} * g = 1.49 * 10^{-4} m^3 * 7860 \frac{kg}{m^3} * 9.8 \frac{m}{s^2} = 11.48 N$$

$$W_{cuerpo} = W_{rodillo} + 2 W_{placa} = 207.06 N$$

$$W_{lámina} = 2 * 7000 N = 14000 N$$

La tensión que origina la lámina se considera una carga distribuida que actúa sobre el rodillo, tomando en consideración que al desplazarse lateralmente (sin alineación) actúa dentro de todo el largo del rodillo se distribuye la carga para 1250 mm.

$$W_{lámina\ por\ mm} = \frac{14000 N}{1250 mm} = 11.2 \frac{N}{mm}$$

$$\sum Fy = 0$$

$$R_1 - W_{eje1} - W_{cuerpo} - W_{lámina} - W_{eje2} + R_2 = 0$$

$$R_1 - 12.94 N - 207.06 N - 14000 N - 12.94 + R_2 = 0$$

$$R_1 + R_2 = 14232.94 N$$

$$\sum M1 = 0$$

$$W_{eje1} * d_{eje1} + W_{cuerpo} * d_{cuerpo} + W_{lámina} * d_{lámina} + W_{eje2} * d_{eje2} - R_2 * d_{R2} = 0$$

$$12.94 N * 100 mm + 207.06 * 825 mm + \left( 11.2 \frac{N}{mm} * 1250 mm \right) * 825 mm + 12.94 N * 1550 mm = R_2 * 1650 mm$$

$$R_2 = 7116.47 N$$

$$R_1 = 7116.47 N$$

*Cortantes*

$$0 \leq x < 100$$

$$V_1 = R_1 = 7116.47 \text{ N}$$

$$100 \leq x < 200$$

$$V_2 = R_1 - W_{eje1} = 7116.47 \text{ N} - 12.94 \text{ N} = 7103.53 \text{ N}$$

$$200 \leq x < 825$$

$$\begin{aligned} V_3 &= R_1 - W_{eje1} - W_{lamina} \left( \frac{x}{2} \right) = 7116.47 \text{ N} - 12.94 \text{ N} - 11.2 \frac{\text{N}}{\text{mm}} * 625 \text{ mm} \\ &= 103.53 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V_3' = 103.53 \text{ N} - W_{cuerpo} = 103.53 \text{ N} - 207.06 \text{ N} = -103.53 \text{ N}$$

$$825 \leq x < 1450$$

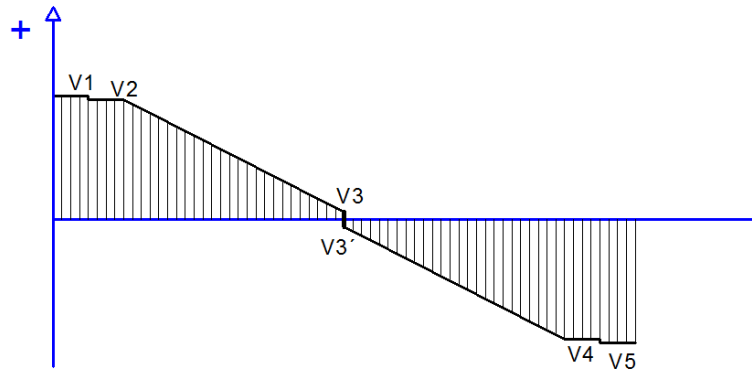
$$\begin{aligned} V_4 &= R_1 - W_{eje1} - W_{lamina}(x) - W_{cuerpo} \\ &= 7116.47 \text{ N} - 12.94 \text{ N} - 11.2 \frac{\text{N}}{\text{mm}} * 1250 \text{ mm} - 207.06 \text{ N} \\ &= -7103.53 \text{ N} \end{aligned}$$

$$1450 \leq x < 1550$$

$$\begin{aligned} V_5 &= R_1 - W_{eje1} - W_{lamina}(x) - W_{cuerpo} - W_{eje2} \\ &= 7116.47 \text{ N} - 12.94 \text{ N} - 11.2 \frac{\text{N}}{\text{mm}} * 1250 \text{ mm} - 207.06 \text{ N} \\ &\quad - 12.94 \text{ N} = -7116.47 \text{ N} \end{aligned}$$

$$1450 \leq x < 1650$$

$$\begin{aligned} V_6 &= R_1 - W_{eje1} - W_{lamina}(x) - W_{cuerpo} - W_{eje2} + R_2 = \\ &= 7116.47N - 12.94N - 11.2 \frac{N}{mm} * 1250 mm - 207.06 N \\ &\quad - 12.94N + 7116.47N = 0 N \end{aligned}$$



**Figura 49 Gráfica de Cortante Rodillo de Entrada/Salida**

### *Momentos Flectores*

$$0 \leq x < 100$$

$$M_1 = R_1 * d_1 = 7116.47N * 100 mm = 711647 N * mm$$

$$100 \leq x < 200$$

$$\begin{aligned} M_2 &= R_1 * d_1 - W_{eje1} * d_2 = 7116.47N * 200 mm - 12.94N * 100 mm \\ &= 1422000 N * mm \end{aligned}$$

$$200 \leq x < 825$$

$$\begin{aligned} M_3 &= R_1 * d_1 - W_{eje1} * d_2 - W_{lamina} \left( \frac{x}{2} \right) * d_3 \\ &= 7116.47 N * 825mm - 12.94N * 725mm - 11.2 \frac{N}{mm} * 625 mm \\ &\quad * 312.5mm = 3674206.25 N * mm \end{aligned}$$

$$825 \leq x < 1450$$

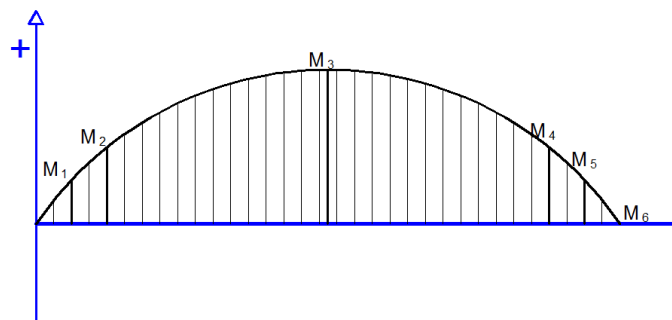
$$\begin{aligned} M_4 &= R_1 * d_1 - W_{eje1} * d_2 - W_{lamina}(x) * d_3 - W_{cuerpo} * d_4 \\ &= 7116.47 \text{ N} * 1450 \text{ mm} - 12.94 \text{ N} * 1350 \text{ mm} - 11.2 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \\ &\quad * 1250 \text{ mm} * 625 \text{ mm} - 207.06 \text{ N} * 625 \text{ mm} = 1422000 \text{ N} * \text{mm} \end{aligned}$$

$$1450 \leq x < 1550$$

$$\begin{aligned} M_5 &= R_1 * d_1 - W_{eje1} * d_2 - W_{lamina}(x) * d_3 - W_{cuerpo} * d_4 \\ &= 7116.47 \text{ N} * 1550 \text{ mm} - 12.94 \text{ N} * 1450 \text{ mm} - 11.2 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \\ &\quad * 1250 \text{ mm} * 725 \text{ mm} - 207.06 \text{ N} * 725 \text{ mm} = 711647 \text{ N} * \text{mm} \end{aligned}$$

$$1550 \leq x < 1650$$

$$\begin{aligned} M_6 &= R_1 * d_1 - W_{eje1} * d_2 - W_{lamina}(x) * d_3 - W_{cuerpo} * d_4 - W_{eje2} * d_5 \\ &= 7116.47 \text{ N} * 1650 \text{ mm} - 12.94 \text{ N} * 1550 \text{ mm} - 11.2 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \\ &\quad * 1250 \text{ mm} * 825 \text{ mm} - 207.06 \text{ N} * 825 \text{ mm} - 12.94 \text{ N} * 100 \text{ mm} \\ &= 0 \end{aligned}$$



**Figura 50 Gráfica de Momentos Flectores Rodillo de Entrada/Salida**

*Determinación de Esfuerzos y Factor de Seguridad*

- Esfuerzo Normal Máximo:

$$\sigma_{max} = \frac{Mc}{I}$$

- Esfuerzo Cortante Máximo:

$$\tau_{max} = \frac{2V}{A}$$

Corresponde a una viga circular hueca con pared delgada.

### Límite de Fluencia del Material

Acero ASTM A53  $S_y = 205 \text{ MPa}$

### Dimensiones del Material

La carcasa del rodillo fue fabricada con tubería sin costura cédula 80 ASTM A-53. Las dimensiones aproximadas se pueden encontrar en el catálogo del proveedor:

**Tabla 29 Dimensiones de Tubería.**

NOMINAL	DIAMETRO		ESPESOR		PRESION/PRUEBA		PESO
	EXTERIOR		e	pulg	kg/cm2	lb/pulg2	kg/m
	mm	pulg	mm				
1/4"	13.70	0.54	3.02	0.11	60	850	0.80
3/8"	17.10	0.37	3.20	0.12	60	850	1.10
1/2"	21.30	0.84	3.73	0.14	60	850	1.62
3/4"	26.70	1.05	3.91	0.15	60	850	2.19
1"	33.40	1.31	4.55	0.17	60	850	3.23
1 1/4"	42.20	1.66	4.85	0.19	134	1900	4.47
1 1/2"	48.30	1.90	5.08	0.20	134	1900	5.41
2"	60.30	2.37	5.54	0.21	176	2500	7.48
2 1/2"	73.00	2.87	7.01	0.27	176	2500	11.41
3"	88.90	3.50	7.62	0.30	176	2500	15.27
4"	114.30	4.50	8.56	0.33	197	2800	22.31
6"	168.30	6.62	10.97	0.43	193	2740	42.56

Fuente: DIPAC ([http://www.dipacmanta.com/alineas.php?ca\\_codigo=3802](http://www.dipacmanta.com/alineas.php?ca_codigo=3802))

### Inercia

$$I = \frac{\pi}{64} (D^4 - d^4)$$

$$I = \frac{\pi}{64} ((168.30\text{mm})^4 - (146.36\text{mm})^4)$$

$$I = 1.69 * 10^7 \text{mm}^4$$

$$\sigma_{max} = \frac{Mc}{I} = \frac{(3674206.25 \text{ N} * \text{mm}) \left(\frac{168.30}{2} \text{mm}\right)}{1.69 * 10^7 \text{mm}^4}$$

$$\sigma_{max} = 18.29 \text{ MPa} = \sigma_x$$

$$\tau_{max} = \frac{2V}{A} = \frac{2(7116.47)}{\frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)}$$

$$\tau_{max} = \frac{2(7116.47)}{\frac{\pi}{4}(168.30^2 - 146.36^2)} = 2.62 \text{ MPa} = \tau_{xy}$$

Empleando la teoría de la energía de distorsión para materiales dúctiles:

$$\sigma' = \frac{S_y}{n}$$

Calculando el esfuerzo de Von Mises para el estado plano mediante:

$$\sigma' = (\sigma_x^2 - \sigma_x * \sigma_y + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy}^2)^{\frac{1}{2}}$$

$$\sigma' = (18.29^2 + 2.62^2)^{\frac{1}{2}} = 18.48 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{S_y}{\sigma_{max}} = \frac{205 \text{ MPa}}{18.48 \text{ MPa}} = 11.09$$

#### 4.5 DISEÑO DEL RODILLO PARA CELDAS DE CARGA

A fin de realizar el diseño del rodillo que corresponde al sistema de control de tensión de la lámina de materia prima, se toma como datos base para los cálculos la consideración de dos parámetros:

- Diámetro nominal del rodillo: 4 pulgadas,
- Peso máximo del rodillo: 50 Kg.

Dichos aspectos son recomendados para este tipo de sistemas por los fabricantes de las celdas de carga, con la finalidad de realizar un control adecuado, como se explicó en el capítulo 2.

Se procede a comprobar si el diámetro establecido de cuatro pulgadas puede soportar la tensión de la armadura tanto de fibra de vidrio como de poliéster.

*Longitud de la cara del Rodillo*

$$\text{Longitud de la cara del rodillo} = \text{anchura de la lámina} + 2(\text{error}) + 1 \text{ in}$$

$$\text{Longitud de la cara del rodillo} = 1000 \text{ mm} + 2 * 2 * 25.4 \text{ mm} + 25.4 \text{ mm}$$

$$\text{Longitud de la cara del rodillo} = 1127 \text{ mm} \cong 1200 \text{ mm}$$

### Eje Muerto



**Figura 51 DCL del Eje Muerto de Rodillo para Celda de Carga**

El dato de la masa aproximada del rodillo alineador ensamblado ha sido tomado del software de simulación SOLIDWORKS para una mejor aproximación en base a su geometría.

$$T = \text{tensión máxima de la lámina} = 7000 \text{ N}$$

$$M_r = \text{Masa aproximada del rodillo loco ensamblado totalmente} = 27 \text{ kg}$$

$$P_r = \text{peso del rodillo loco} = 264.6 \text{ N}$$

$$F = \frac{T}{2} + \frac{P}{2} = 3500 \text{ N} + 132.3 \text{ N} = 3632.3 \text{ N}$$

### Reacciones

$$R_A = R_B = F = 3632.3 \text{ N}$$

### Cortantes

$$V_{AC} = R_A = 3632.3 \text{ N}$$

$$V_{CD} = V_{AC} - P = 0 \text{ N}$$

$$V_{DB} = -P = -3632.3 \text{ N}$$



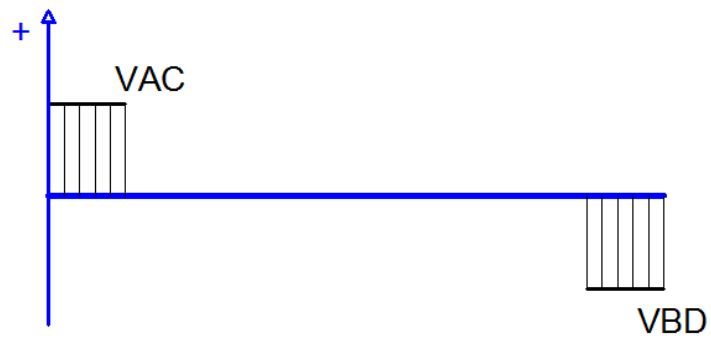


Figura 52 Diagrama de Cortantes del Eje Muerto.

*Momentos Flectores*

$$M_{AC} = \frac{F}{L}(Lx - aL + a^2)$$

$$M_{AC} = \frac{3632.3}{1488}(1488 * x - 144 * 1488 + 20736) = 3632.3x - 193536$$

$$M_A = -193536 \text{ Nmm} \quad x = 0 \text{ mm}$$

$$M = 0 \quad 3632.3x - 193536 = 0 \quad x = 53.282 \text{ mm}$$

$$M_{CD} = \frac{Fa^2}{L}$$

$$M_{CD} = \frac{(3632.3\text{N})(20736\text{mm}^2)}{1488 \text{ mm}} = 50617.86 \text{ Nmm}$$

$$M_{DB} = \frac{F}{L}(L^2 - Lx - La + a^2)$$

$$\begin{aligned} M_{DB} &= \frac{(3632.3)}{1488}(2214144 - 1488\text{mm} * x - 1488 * 144 + 20736) \\ &= 4932429.06 - 3632.3x \end{aligned}$$

$$M_B = -472433.34 \text{ Nmm} \quad x = 1488\text{mm}$$

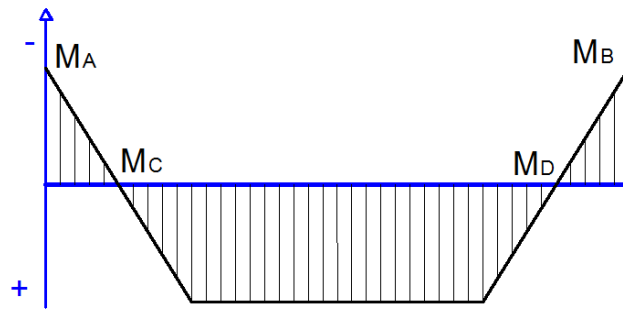


Figura 53 Diagrama de Momentos del Eje Muerto.

### Deflexión Elástica

$$E_{SAE\ 1018} = 205000\ MPa = 205000\ \frac{N}{mm^2}$$

$$I = \frac{1}{64}(\pi * d^4) = \frac{1}{64}(\pi * (30mm)^4) = 39760.78\ mm^4$$

$$Y_{AC} = \frac{-Fx^2}{6EIL}(3aL - 3a^2 - Lx)$$

$$Y_{AC} = \frac{-3632.3x^2}{6 * 205000 * 39760.78 * 1488}(3 * 144 * 1488 - 3 * 20736 - 1488x)$$

$$Y_{AC} = -2.9 * 10^{-5}x^2 + 7.427 * 10^{-8}x^3$$

$$Y_A = 0 \quad x = 0$$

$$Y_C = -0.3795\ mmx = 144\ mm$$

$$Y_{CD} = \frac{-Fa^2}{6EIL}(-aL - 3x^2 + 3Lx)$$

$$Y_{CD} = \frac{-3632.3 * 20736}{6 * 205000 * 39760.78 * 1488} (-144 * 1488 - 3x^2 + 3 * 1488 * x)$$

$$Y_{CD} = 3.105 * 10^{-6}x^2 - 4.62 * 10^{-3}x + 0.2218$$

$$Y_D = -0.3788 \text{ mm}x = 1344 \text{ mm}$$

$$Y_{DB} = \frac{-F(L-x)^2}{6EIL} [3aL - 3a^2 - L(L-x)]$$

$$Y_{DB} = \frac{-3632.3(1488-x)^2}{6 * 205000 * 39760.78 * 1488} [3 * 144 * 1488 - 3 * 20736 - 1488(1488-x)]$$

$$Y_{DB} = -2.369 * 10^{-8}x^3 + 8.897 * 10^{-5}x^2 - 0.111x + 46.273$$

$$Y_B = 0 \quad x = 1488 \text{ mm}$$

### *Flecha Máxima*

$$Y_{max} = \frac{Fa^2}{24EI} (3L - 4a) \text{ para } x = \frac{L}{2}$$

$$Y_{max} = \frac{3632.3 * 20736}{24 * 205000 * 39760.78} (3 * 1488 - 4 * 144) = 1.497 \text{ mm}$$

### *Determinación de Esfuerzos y Factor de Seguridad*

- Esfuerzo Normal Máximo:

$$\sigma_{max} = \frac{Mc}{I}$$

- Esfuerzo Cortante Máximo:

$$\tau_{max} = \frac{4V}{3A}$$

Corresponde a una viga circular.

### *Límite de Fluencia del Material*

Acero SAE 1018  $S_y = 370 \text{ MPa}$

### *Dimensiones del Material*

El diámetro mínimo del eje que conforma el rodillo del alineador ha sido propuesto en 30mm. Las secciones críticas, donde se ubican las cortantes y momentos máximos corresponden a ese diámetro.

### *Inercia*

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

$$I = \frac{\pi}{64} ((30\text{mm})^4)$$

$$I = 39760.78 \text{ mm}^4$$

$$\sigma_{max} = \frac{M_c}{I} = \frac{(472433.34 \text{ N} * \text{mm}) \left(\frac{30}{2} \text{ mm}\right)}{39760.78 \text{ mm}^4}$$

$$\sigma_{max} = 178.23 \text{ MPa} = \sigma_x$$

$$\tau_{max} = \frac{4V}{3A} = \frac{4(3632.3)}{\frac{3\pi}{4} (D^2)}$$

$$\tau_{max} = \frac{4(3632.3)}{\frac{\pi}{4} (30^2)} = 20.56 \text{ MPa} = \tau_{xy}$$

Empleando la teoría de la energía de distorsión para materiales dúctiles:

$$\sigma' = \frac{S_y}{n}$$

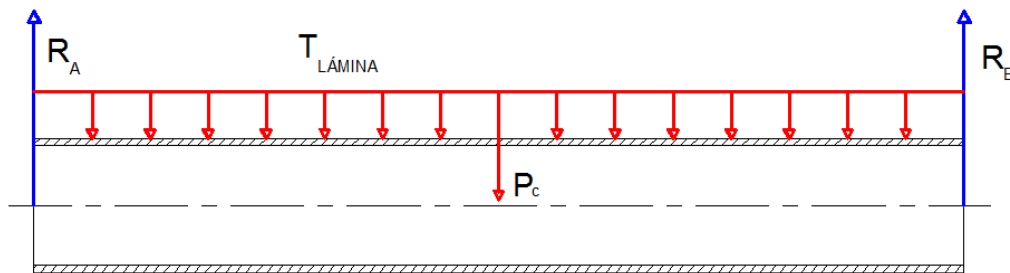
Calculando el esfuerzo de Von Mises para el estado plano mediante:

$$\sigma' = (\sigma_x^2 - \sigma_x * \sigma_y + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy}^2)^{\frac{1}{2}}$$

$$\sigma' = (178.23^2 + 20.56^2)^{\frac{1}{2}} = 179.41 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{S_y}{\sigma_{max}} = \frac{370 \text{ MPa}}{179.41 \text{ MPa}} = 2.06$$

### Carcasa del Rodillo



**Figura 54 DCL Carcasa del Rodillo para Celdas de Carga**

$$T = \text{tensión máxima de la lámina} = 7000 \text{ N}$$

$$\text{longitud del rodillo} = 1200 \text{ mm}$$

$$\text{Tensión distribuida de la lámina} = 5.83 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

$$P_c = \text{peso de la carcasa del rodillo loco} = 176.4 \text{ N}$$

El dato del peso de la carcasa del rodillo alineador ha sido tomado del software de simulación SOLIDWORKS para una mejor aproximación en base a su geometría.

### Fuerzas

$$\sum Fy = 0$$

$$R_A - P_c - T_{lámina} + R_B = 0$$

$$R_A + R_B = 7176.4 \text{ N}$$

$$\sum MA = 0$$

$$P_c * d_{Pc} + T_{lámina} * longitudrodillo * d_{lámina} - R_B * d_{RB} = 0$$

$$P_c * d_{Pc} + T_{lámina} * longitudrodillo * d_{lámina} - R_B * d_{RB} = 0$$

$$176.4 \text{ N} * 600\text{mm} + 5.83 \frac{\text{N}}{\text{mm}} * 1200\text{mm} * 600\text{mm} - R_B * 1200\text{mm} = 0$$

$$R_B = 3586.2 \text{ N}$$

$$R_A = 3586.2 \text{ N}$$

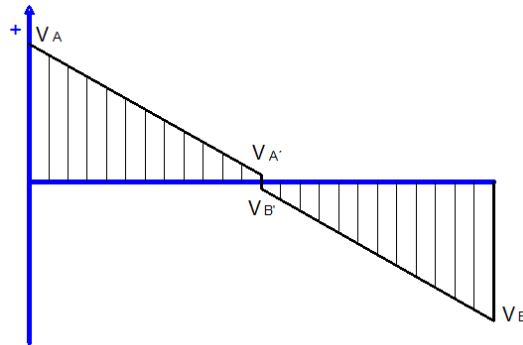
### Cortantes

$$V_A = R_A = 3586.2 \text{ N}$$

$$V'_A = R_A - T_{lámina} * \frac{longitudrodillo}{2} = 3586.2 \text{ N} - 3500 \text{ N} = 86.2 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} V'_B &= R_A - T_{lámina} * \frac{longitudrodillo}{2} - P_c = 3586.2 \text{ N} - 3500 \text{ N} - 176.4 \text{ N} \\ &= -90.2 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V_B = R_A - T_{lámina} * longitudrodillo - P_c = 3586.2 N - 7000 N - 176.4 N \\ = -3590.2 N$$



**Figura 55 Diagrama de Cortantes de la Carcasa del Rodillo para Celdas de Carga**

*Momentos Flectores*

$$0 \leq x < 600$$

$$M_A = 0$$

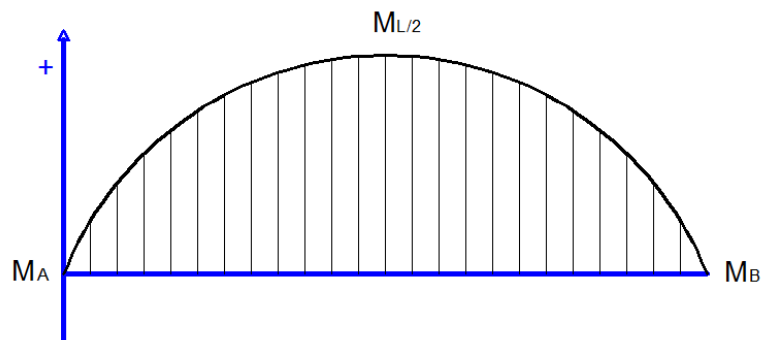
$$M = R_A * x - T_{lámina} * x * \frac{x}{2} = 3586.2 x - 2.915 x^2$$

$$M_{\frac{L}{2}} = 3586.2 N * 600mm - 5.83 \frac{N}{mm} * 600mm * 300mm = 1.102 * 10^6 N * mm$$

$$600 \leq x < 1200$$

$$M = R_A * x - T_{lámina} * x * \frac{x}{2} - P_c * \frac{x}{2} = 3586.2 x - 2.915 x^2 - 90.2 x \\ = 3496x - 2.915 x^2$$

$$M_B = 3586.2 N * 1200mm - 5.83 \frac{N}{mm} * 1200mm * 600mm - 176.4 N \\ * 600mm = 0$$



**Figura 56 Diagrama de Momentos de la Carcasa del Rodillo para Celdas de Carga.**

### *Deflexión Elástica*

$$E_{ASTMA53} = 200000 \text{ MPa} = 200000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$I = \frac{\pi}{64} (D^4 - d^4) = \frac{\pi}{64} ((101.6\text{mm})^4 - (95.25\text{mm})^4)$$

$$I = 1.19 * 10^6 \text{ mm}^4$$

Con la ayuda del software de análisis de vigas MDSolid 3.5 se obtiene la ecuación de la deflexión para el tipo de cargas analizadas:

$$E * I * Y = \frac{3586.2}{6} x^3 + \frac{3586.2}{6} (x - 1200)^3 - 435891600x - \frac{5.83}{24} x^4 + \frac{5.83}{24} (x - 1200)^4 - \frac{176.4}{6} (x - 600)^3$$

$$Y = \frac{1}{5.16 * 10^{11}} \left( \frac{3586.2}{6} x^3 + \frac{3586.2}{6} (x - 1200)^3 - 435891600x - \frac{5.83}{24} x^4 + \frac{5.83}{24} (x - 1200)^4 - \frac{176.4}{6} (x - 600)^3 \right)$$



La deflexión máxima se presenta en la mitad de la longitud de la carcasa, es decir cuando  $x$  toma el valor de 600 mm.

$$Y_{max} = \frac{1}{5.16 * 10^{11}} \left( \frac{3586.2}{6} x^3 + \frac{3586.2}{6} (x - 1200)^3 - 435891600x - \frac{5.83}{24} x^4 + \frac{5.83}{24} (x - 1200)^4 - \frac{176.4}{6} (x - 600)^3 \right)$$

$$Y_{max} = -0.507 \text{ mm}$$

### *Deflexión Máxima Recomendada en Cilindros*

La deflexión máxima recomendada para los rodillos que forman parte de un alineador sigue la Regla del Pulgar (Smith, 2010):

- Generalmente 0.01" por cada 100" de longitud de la cara del rodillo.
- Menos de 0.01" si el tipo de lámina que se transporta es foil.
- Más de 0.01" si el material de la lámina es de tipo extensible.

Considerando la longitud de la cara del rodillo en pulgadas se obtiene un valor de 47.24 pulgadas y efectuando la relación a la longitud del rodillo diseñado la deflexión permitida es 0.047 pulgadas lo que equivale a 1.19 mm, por lo que el valor de deflexión máxima calculado de 0.507 mm se encuentra dentro del límite permisible.

### *Determinación de Esfuerzos y Factor de Seguridad*

- Esfuerzo Máximo Normal:

$$\sigma_{max} = \frac{Mc}{I}$$

- Esfuerzo Cortante Máximo:

$$\tau_{max} = \frac{2V}{A}$$

Corresponde a una viga circular hueca con pared delgada.

#### *Límite de Fluencia del Material*

Acero ASTM A53  $S_y = 205 \text{ MPa}$

#### *Dimensiones del Material*

$D = 101.6 \text{ mm}$

$d = 95.25 \text{ mm}$

$$\sigma_{max} = \frac{Mc}{I} = \frac{(1.102 * 10^6 \text{ N} * \text{mm}) \left( \frac{101.6}{2} \text{ mm} \right)}{1.19 * 10^6 \text{ mm}^4}$$

$$\sigma_{max} = 47.04 \text{ MPa} = \sigma_x$$

$$\tau_{max} = \frac{2V}{A} = \frac{4(3586.2)}{\frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)}$$

$$\tau_{max} = \frac{4(3586.2)}{\frac{\pi}{4}(101.6^2 - 95.25^2)} = 14.61 \text{ MPa} = \tau_{xy}$$

Empleando la teoría de la energía de distorsión para materiales dúctiles:

$$\sigma' = \frac{S_y}{n}$$

Calculando el esfuerzo de Von Mises para el estado plano mediante:

$$\sigma' = (\sigma_x^2 - \sigma_x * \sigma_y + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy}^2)^{\frac{1}{2}}$$

$$\sigma' = (47.04^2 + 14.61^2)^{\frac{1}{2}} = 49.26 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{S_y}{\sigma_{max}} = \frac{205 \text{ MPa}}{49.26 \text{ MPa}} = 4.16$$

#### 4.6 SIMULACIÓN DE DEFORMACIÓN, ESFUERZOS Y FACTOR DE SEGURIDAD

Una vez dimensionadas todas las partes de la estructura, se someten a análisis de esfuerzos, deformación y factor de seguridad. Estos análisis se realizan con la ayuda del programa computacional *SolidWorks*, utilizando la herramienta *SolidWorksSimulation*. Para realizar esta simulación es necesario definir el material, aplicar las cargas correctamente, definir las geometrías fijas y las uniones entre elementos si es que hay más de un elemento. El factor de seguridad elegido para esta sección es de 2.

##### *Ensamble bobina de materia prima*

Como se explicó en el capítulo 2, las bobinas de materia prima constarán con un sistema de desbobinado conformado por:

- Bobina de materia prima
- Eje expandible portabobinas
- Dos mandriles de seguridad
- Freno neumático

Dicho ensamble se encontrará sujeto a la estructura del empalmador por medio de pernos dispuestos en el cuerpo de los mandriles de seguridad apertados a una placa de acero de ½" de espesor soldada a la estructura.

Por lo que la estructura estará sometida a momentos de fuerza producidos por los pesos de los componentes del ensamble, los cuales se distribuirán en dos puntos que son los ubicados en los apoyos de los mandriles de sujeción.

Para el cálculo de éstas fuerzas, se debe considerar los pesos de los elementos descritos anteriormente.

$$m_{bobina} = 165 \text{ kg}$$

$$m_{eje} = 65 \text{ kg}$$

$$m_{mandril} = 1.5 \text{ kg}$$

$$m_{freno} = 7 \text{ kg}$$

Y mediante la siguiente ecuación se puede calcular el peso total:

$$m_{TOTAL} = m_{bobina} + m_{eje} + (2 * m_{mandril}) + m_{freno} \quad (27)$$

$$m_{TOTAL} = 165 + 65 + (2 * 1.5) + 7$$

$$m_{TOTAL} = 240 \text{ kg} = 2352 \text{ N}$$

El torque producido por la estructura para el ensamble de bobina y eje expandible portabobina se obtiene de la siguiente expresión:

$$\tau_1 = (m_{bobina} + m_{eje}) * d \quad (28)$$

Donde  $d$  es la distancia aproximada del centro de masa de la estructura para el ensamble a los puntos de sujeción, excepto el freno neumático. Donde ésta tiene un valor de 79.3cm. Reemplazando los datos en la expresión dada se tiene:

$$\tau_1 = (165 + 65) * 79.3$$

$$\tau_1 = 18239 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$\tau_1 = 18239 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

Lo que se traduce a un torque de 1787.42 Nm.

El torque producido por la estructura para el acople del freno neumático se obtiene de la siguiente expresión:

$$\tau_2 = m_{freno} * d \quad (29)$$

Donde  $d$  es la distancia aproximada del centro de masa del freno neumático al punto de sujeción a la estructura. Donde ésta tiene un valor de 6.5cm. Reemplazando los datos en la expresión dada se tiene:

$$\tau_2 = 7 * 6.5$$

$$\tau_2 = 45.5 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

Lo que se traduce a un torque de 4.46 Nm.

Para calcular el momento resultante se realiza una sumatoria de momentos, como se hace a continuación:

$$\tau_{resultante} = \tau_1 - \tau_2 \quad (30)$$

$$\tau_{resultante} = 1787.42 - 4.46$$

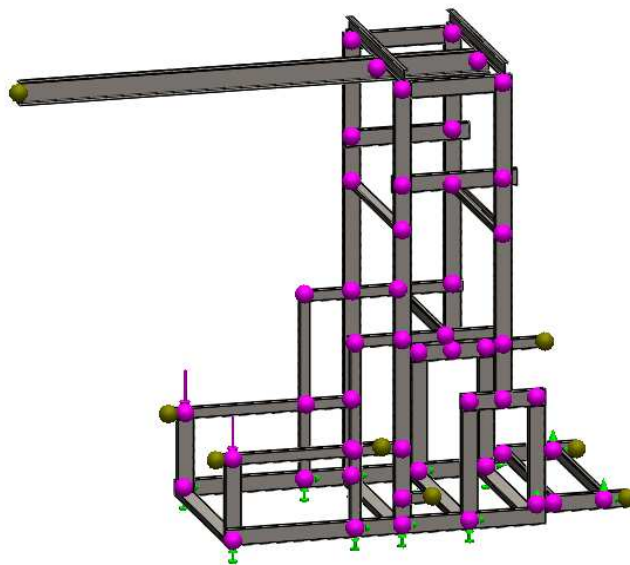
$$\tau_{resultante} = 1782.96 \text{ Nm}$$

Una vez que se han calculado las cargas a las que será sometida la estructura se procede a realizar la simulación del análisis de esfuerzos considerando los siguientes aspectos:

- Geometrías fijas: puntos de sujeción en todas las juntas inferiores.

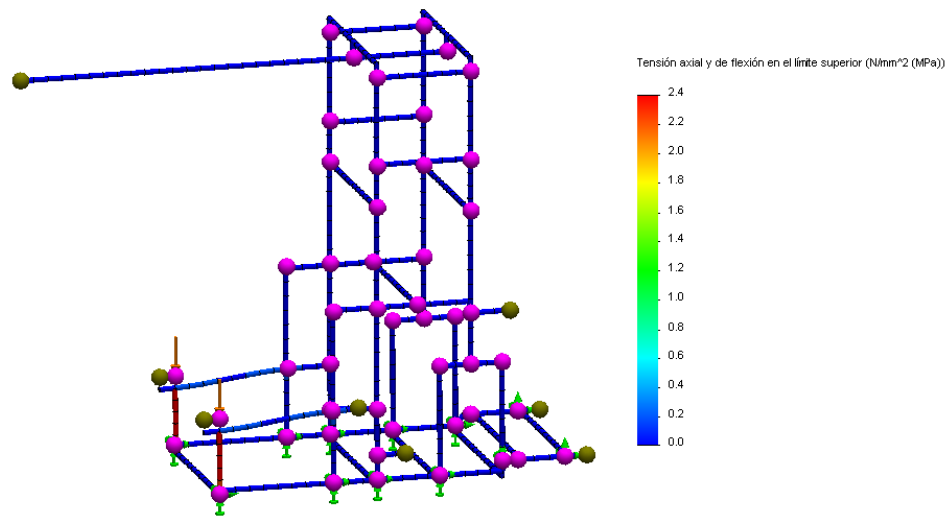
- Peso del conjunto eje, bobina, mandriles y freno neumático: 240 kg.
- Torque generado por el freno neumático sobre la estructura.

En la Figura 57 se muestra las condiciones descritas aplicadas a la estructura del empalmador.



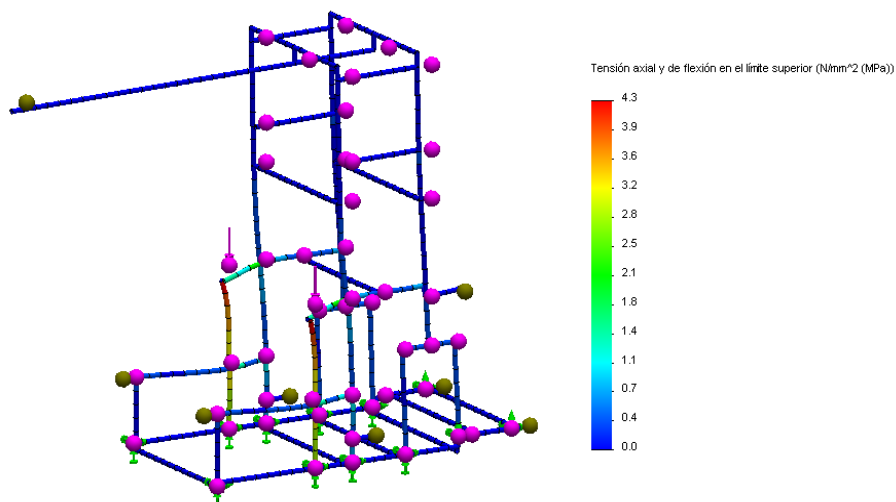
**Figura57 Geometrías Fijas y Cargas Aplicadas a la Estructura por el Sistema de Desbobinado #1**

A continuación, en la Figura 58 se muestran los resultados obtenidos en el análisis de elementos finitos.



**Figura 58 Resultado del Análisis de Esfuerzos de la Estructura para el Sistema de Desbobinado #1**

Para el análisis del segundo sistema de desbobinado del que constará la máquina se realiza el mismo procedimiento, tomando en cuenta la posición que ocupará en la estructura, ya que los elementos utilizados son los mismos. Los resultados de este segundo análisis se observan en la Figura 59.



**Figura 59 Resultado del Análisis de Esfuerzos de la Estructura para el Sistema de Desbobinado #2**

### *Ensamble Mesa de Empalme*

Para el análisis de la mesa de empalme se debe considerar únicamente el peso generado por el mismo. Dicho ensamble consta de los siguientes elementos:

- Placa de acero para empalme
- Placas de sujeción a estructura
- Resistencias eléctricas tipo U
- Platinas de sujeción para resistencias
- Pernos y tuercas de sujeción

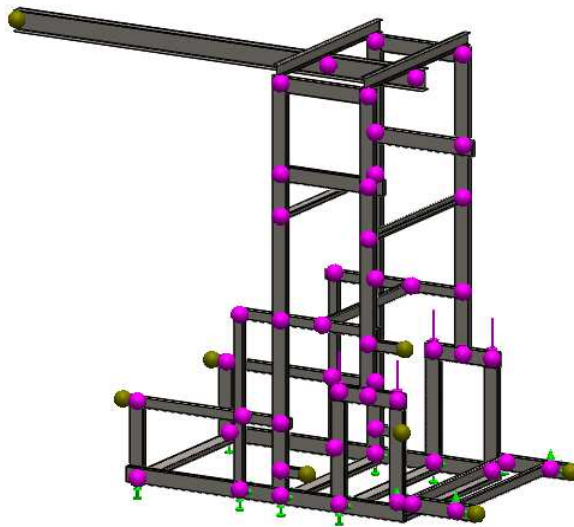
Los pesos que involucran el sistema de calefacción, es decir: resistencias, platinas y pernos; se consideran despreciables sin embargo el peso total del ensamble es un dato obtenido del software Solidworks y corresponde a: 85.7 kg el cual corresponde a 839.86 N.

Se procede entonces a realizar la simulación del análisis de esfuerzos considerando los siguientes aspectos:

- Geometrías fijas: puntos de sujeción en todas las juntas inferiores.
- Carga a aplicar: 839.86 N

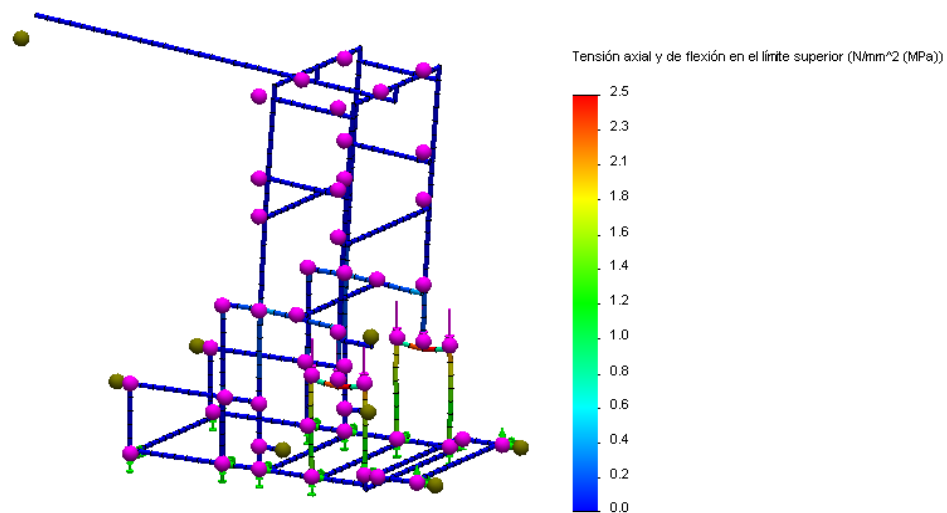
En la Figura 60 se muestra la aplicación de dichas condiciones.





**Figura 60 Geometrías Fijas y Cargas Aplicadas a la Estructura por el Ensamble de la Mesa de Empalme**

Los resultados obtenidos se observan en la Figura 61.



**Figura 61 Resultado del Análisis de Esfuerzos de la Estructura para el Ensambla de la Mesa de Empalme**

### *Sistema Prensado*

Dentro del sistema de prensado se analizará un ensamble conformado por:

- El sub-ensamble para sujeción de la placa térmica móvil
- Cilindros neumáticos

Los cilindros se sujetarán a una viga tipo UPN de 100 mm de ancho, y éstos a su vez sujetarán el sub-ensamble de la placa térmica móvil. Por lo tanto se procede a calcular el peso total del sistema, tomando en cuenta los siguientes datos:

$$m_{cilindro} = 4.06 \text{ kg}$$

$$m_{sub-ensamble} = 93.7 \text{ kg}$$

Por lo tanto se tiene un total de:

$$m_{TOTAL} = (2 * m_{cilindro}) + m_{sub-ensamble}$$

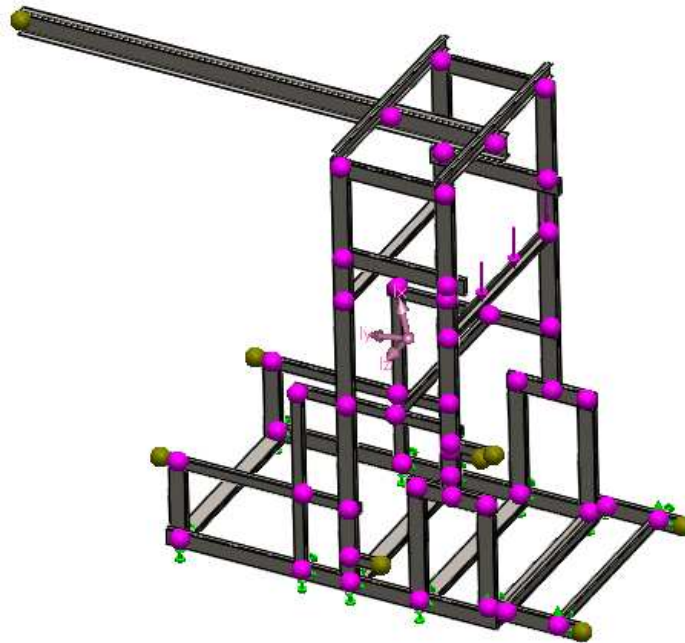
$$m_{TOTAL} = (2 * 4.06) + 93.7$$

$$m_{TOTAL} = 101.82 \text{ kg}$$

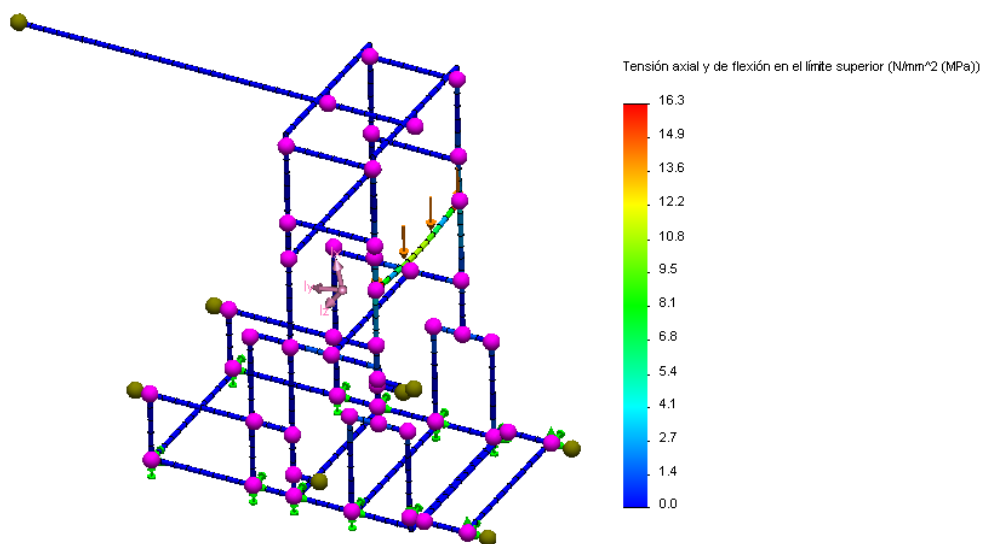
Lo que se traduce a un peso de 997.84 N.

Se procede entonces a realizar la simulación del análisis de esfuerzos considerando las geometrías fijas y la carga que actúa sobre la viga UPN.

En la Figura 62 se muestra la aplicación de dichos aspectos.



**Figura 62 Geometrías Fijas y Cargas Aplicadas a la Estructura por el Sistema de Prensado**



**Figura 63 Resultado del Análisis de Esfuerzos de la Estructura para el Sistema de Prensado**

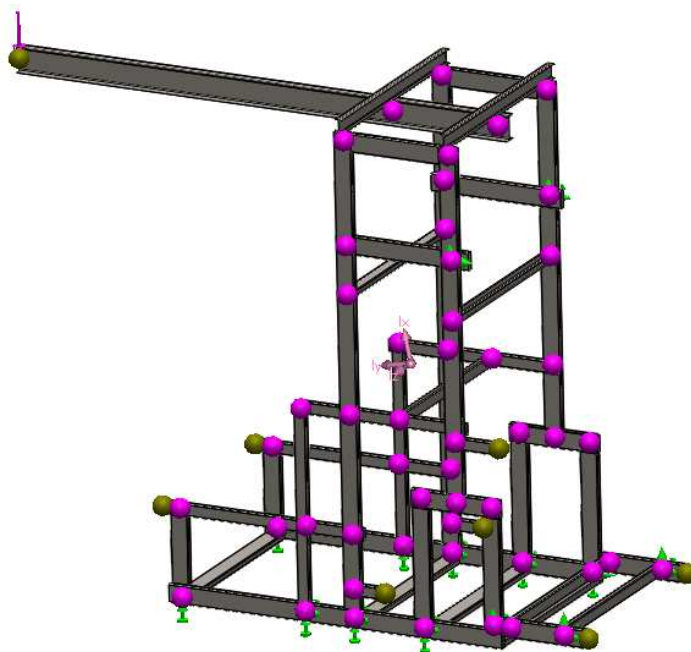
### *Sistema de Polipasto*

Para el análisis del sistema de polipasto se deben considerar el peso de los siguientes elementos:

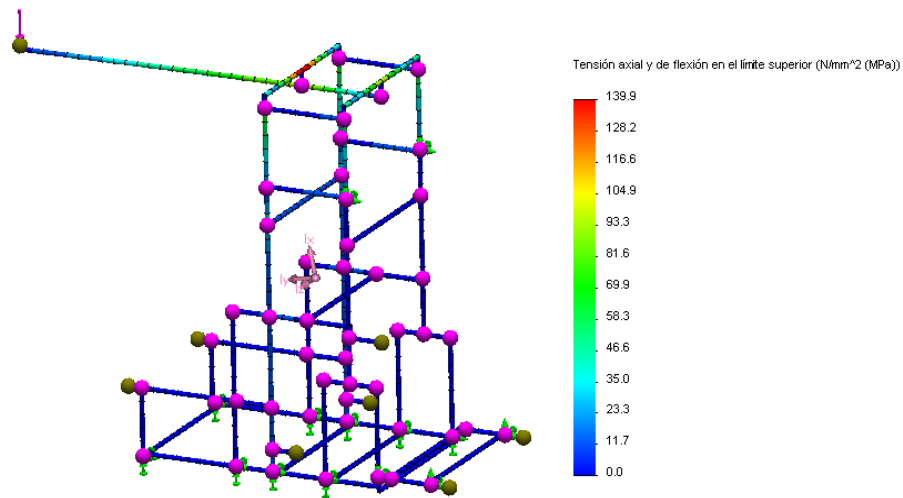
- Bobina de materia prima
- Eje expandible portabobinas
- Tecla TXK-SSDHL 0.05-01S: 47kg

Sin embargo el análisis se llevará a cabo tomando en cuenta la carga para la que ha sido diseñado el Tecla puesto que éste se consideraría como el peor de los casos, es decir para 0.5 Ton.

En la Figura 64 se muestra la aplicación de las geometrías fijas y la carga especificada. Mientras que en la Figura 65 se muestran los resultados del análisis realizado.



**Figura 64 Geometrías Fijas y Cargas Aplicadas a la Estructura por el Sistema de Polipasto**



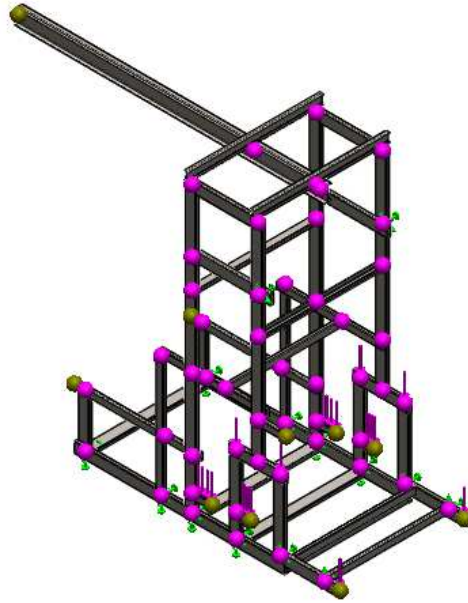
**Figura 65 Resultado del Análisis de Esfuerzos de la Estructura para el Sistema de Polipasto**

#### *Cargas generadas por Rodillos de Paso*

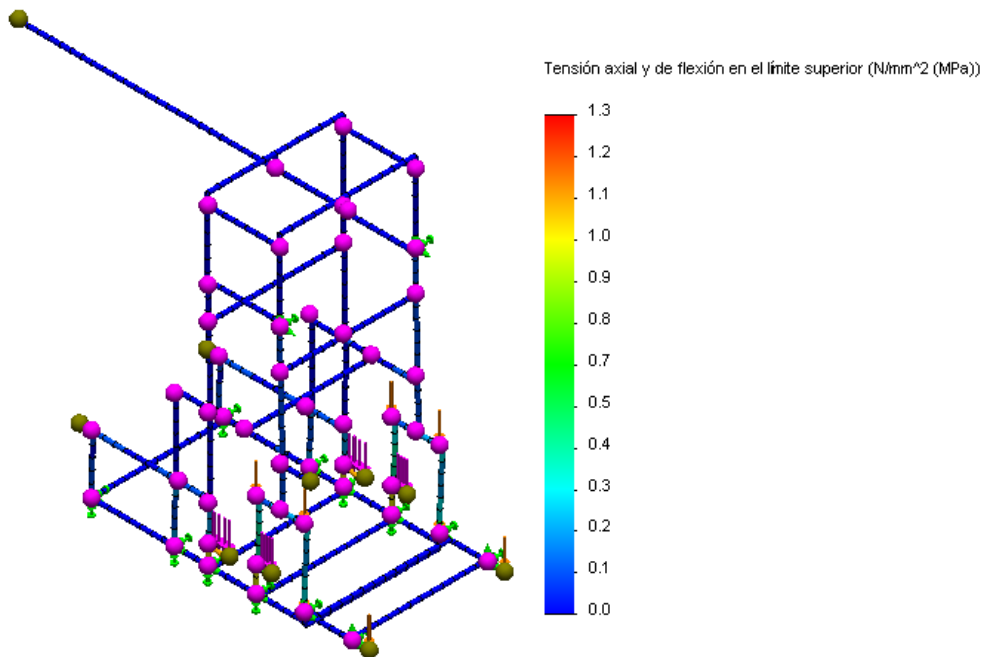
El empalmador está conformado de 6 rodillos, de los cuales 5 son de paso y el restante es el utilizado para la medición de la tensión en la lámina. Éstos se encuentran distribuidos en diferentes ubicaciones sobre la estructura metálica de la máquina y generan cargas sobre la misma, las cuales están directamente relacionadas con el peso de cada uno de ellos.

La carga que aplicarán los rodillos de paso sobre la estructura metálica del empalmador será de 245 N; mientras que el rodillo loco aplicará una carga de 264 N.

En la figura 66 se muestra tanto la aplicación de las geometrías fijas como de las cargas definidas que se ejercen sobre la estructura del empalmador para el análisis de los rodillos de paso.



**Figura 66 Geometrías Fijas y Cargas Aplicadas a la Estructura por el Conjunto de Rodillos**



**Figura 67 Resultado del Análisis de Esfuerzos de la Estructura por el Conjunto de Rodillos**

El objetivo de realizar un análisis independiente de cada uno de los sistemas y sub-ensambles que conforman la estructura del empalmador, fue el de llegar a definir el más crítico dentro de todo el conjunto; para de esta manera realizar un diseño óptimo del total de la estructura ya que ésta tiene la característica de ser compacta. Es decir que se trata de un solo cuerpo unido mediante procesos de soldadura.

Después de realizar todos los análisis se ha determinado que el sistema más crítico es el correspondiente al Polipasto ya que genera una tensión de flexión de 140 MPa; mientras que por otro lado el resto de sistemas no llegan a superar un promedio de 10 MPa.

Se procede entonces a definir el material del que estará conformada la viga IPE a la cual estará sujeto el Polipasto. Después de realizar una investigación de mercado, se pudo determinar que todo tipo de vigas son construidas a base de acero ASTM A36 por lo que en la Tabla 30 se definen tanto los parámetros de diseño así como el material a utilizarse.

**Tabla 30 Selección de Material para Viga IPE**

<b>Material</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Desplazamiento máximo (mm)</b>	<b>Factor de Seguridad</b>	<b>Costo (dólares / 6m)</b>
Acero ASTM A36	95.2	3.91	2.71	76.50

Puesto que el resto de la estructura es un cuerpo compacto, se ha realizado simulaciones para dos tipos de aceros, debido a que son los únicos con los que se fabrica tubos estructurales rectangulares. En la Tabla 31 se realiza la comparación de materiales con los respectivos parámetros de diseño obtenidos como resultados del respectivo análisis.

**Tabla 31 Tabla Comparativa de Materiales para la Estructura Compacta del Empalmador**

<b>Material</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Desplazamiento máximo (mm)</b>	<b>Factor de Seguridad</b>	<b>Costo (dólares / 6m)</b>
Acero ASTM A-500	586	3.83	3.71	67.70
Acero Inoxidable AISI 304	597	4.034	3.07	150.50

Tomando en cuenta los resultados obtenidos en los análisis de desplazamientos y de factor de seguridad realizados, los dos materiales se pueden considerar adecuados para la fabricación de la estructura. Por lo tanto el factor que determinará la selección del material será el costo del mismo, por lo que se define que la estructura será construida a base de tubo estructural negro rectangular de acero ASTM A-500.

## **4.7 DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES Y ELEMENTOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS**

### **4.7.1 CONTROL DE TEMPERATURA**

Para el control de la temperatura a la que se debe exponer tanto la placa térmica como la mesa de empalme, se han seleccionado tres elementos básicamente, que son:



- Resistencias eléctricas, como el elemento actuador.
- Termocúplas, como elemento sensor, y;
- Controladores de temperatura digitales.

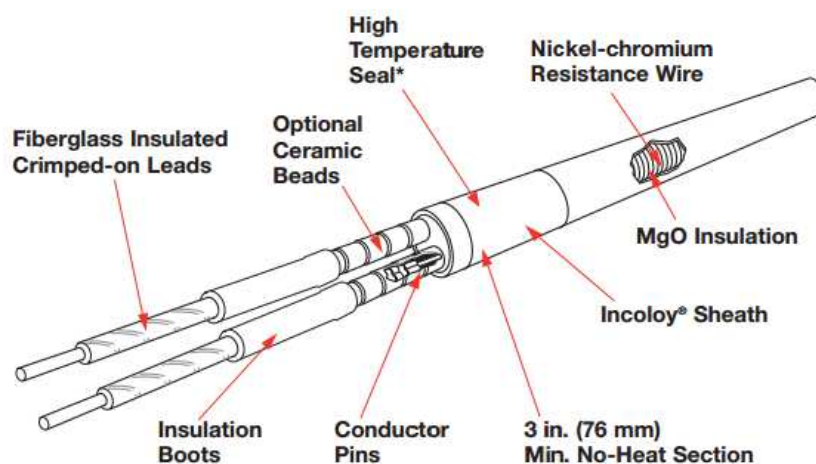
Dichos elementos constarán de su respectivo circuito de control y potencia con las protecciones adecuadas dependiendo de las potencias manejadas.

#### 4.7.1.1 RESISTENCIAS ELÉCTRICAS

##### *Resistencias Eléctricas Tipo Cartucho HT FIREROD®*

Fueron las resistencias seleccionadas para el calentamiento de la placa térmica móvil, debido a que permiten una correcta distribución del calor a lo largo de la misma gracias a su forma y dimensiones.

Las resistencias tipo cartucho HT FIREROD están especialmente diseñadas con un sello final que es virtualmente hermético para reducir los efectos de la oxidación del alambre de la resistencia.



**Figura 68 Estructura Interna de la Resistencia TH FIREROD**

Fuente: <https://www.watlow.com/downloads/en/catalogs/heaters.pdf>

La vaina de alta temperatura es tratada para mejorar su emisividad para una mejor transferencia.

Capacidades de Rendimiento:

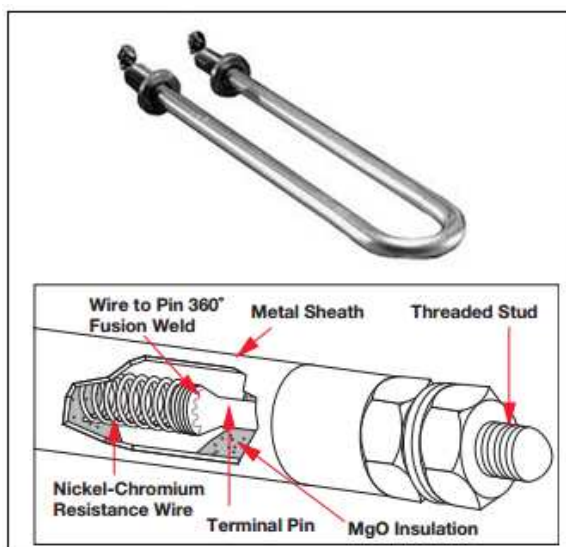
- Temperaturas de la placa a 1800°F (980°C).
- Densidad máxima de vatios a 100 W/in<sup>2</sup>.
- Tensión máxima: 277 VAC.
- Longitud: 10 pulgadas
- Diámetro: ½ pulgadas.
- Longitud de cables: 12 pulgadas.

*Resistencias Eléctricas Tubulares tipo "U" WATROD®*

Este tipo de resistencias son las seleccionadas para realizar el calentamiento de la mesa de empalme. Se consideran las óptimas para éste objetivo debido a que por su forma y longitud de inmersión favorecen en aspectos de sujeción y conexión, lo que permite evitar extensos cableados al momento de su acople.

Capacidades de Rendimiento:

- Densidad máxima de vatios a 120 W/in<sup>2</sup>.
- Temperaturas de la placa a 1200°F (650°C)
- Tensión máxima: 240 VAC.
- Longitud total: 2180 mm.
- Longitud de inmersión: 1955 mm.
- Diámetro: 8 mm.



**Figura 69 Estructura Interna de la Resistencia Tubular WATROD.**

Fuente: <https://www.watlow.com/downloads/en/catalogs/heaters.pdf>

#### 4.7.1.2 SENSOR

El sensor seleccionado para realizar el control de temperatura es la termocupla tipo J de las siguientes características:

- Diámetro: 1/8 pulgada
- Longitud: 4 pulgadas
- Longitud de cable: 48 pulgadas

Este dispositivo es uno de los sensores más comunes que generan una señal en la escala de los milivoltios, lo cual permite una adquisición correcta de datos y por consiguiente realizar un control óptimo y necesario. Se lo encuentra fácilmente en el mercado a precios convenientes, de acuerdo al material del que están fabricados.

**Tabla 32 Descripción de los Tipos de Termocuplas**

Tipo	Combinación de metales	Sensibilidad	Composición química	Rangos de temperatura
J	Hierro-constantan	5.6 mV / 100°C	Fe 44 Ni : 55 Cu	-40 a + 750
K	Cromel-Alumel	3.6 mV / 100°C	90 Ni : 9 Cr 94 Ni:Al:Mn:Fe	-40 a + 1200
T	Cobre-Constantan	4.5 mV / 100°C	Cu 44 Ni : 55 Cu	-50 a + 400
E	Cobre-Constantan	7.9 mV / 100°C	90 Ni : 9 Cr 44 Ni : 55 Cu	-40 a + 900
R	Platino-Rodio / Platino		87Pt:10Rh Pt	Hasta 1480°C
S	Platino-Rodio / Platino		90Pt:10Rh Pt	Hasta 1400°C
B	Platino-Rodio / Platino-Rodio		70Pt:30Rh 94Pt:6Rh	Hasta 1700°C

Fuente: <http://www.arian.cl/downloads/nt-002.pdf>

#### 4.7.1.3 CONTROLADOR

El equipo seleccionado para realizar el control de temperatura es el *MT-622Ri*, que corresponde a un controlador digital de dos etapas con alarma, temporizador cíclico y temporizador de proceso.



**Figura 70 Controlador MT-622Ri**

Fuente: <http://www.megafriosa.com/catalogos/FULL%20GAUGE/MT622V01-01-12231-ESP.pdf>

Utiliza una termocupla tipo J y posee dos salidas para control de temperatura y un buzzer interno. La segunda etapa permite ser configurada para funcionar también como alarma o temporizador cíclico. Posee además un temporizador que indica el final del tiempo de proceso, que puede ser accionado a través de las teclas del panel o por entradas digitales.

#### *Especificaciones Técnicas*

- Alimentación: 115/230 Vac $\pm$ 10% (50/60 Hz)
- Temperatura de control: -50 hasta 600°C/-58 hasta 999°F
- Resolución: 1°C / 1°F
- Dimensiones: 71 x 28 x 71 mm
- Temperatura de operación: 0 hasta 50°C / 32 hasta 122°F
- Humedad de operación: 10 hasta 90% HR (sin condensación)
- Carga por salida: OUT1 – 16(8)A / 250 Vac 1HP - 4000W  
OUT2 – 5(3)a / 250 Vac 1/8HP
- Sensor: Termocupla J

#### *Configuración de parámetros y conexión*

Para la configuración de los parámetros que permitirán obtener el control de temperatura requerido en el sistema, se deben definir ciertas funciones por medio de la manipulación de los pulsadores dispuestos al lado derecho del display de visualización del controlador; y a su vez referirse a la Tabla 33 que contiene la descripción de cada parámetro, los cuales han sido proporcionados por el fabricante.

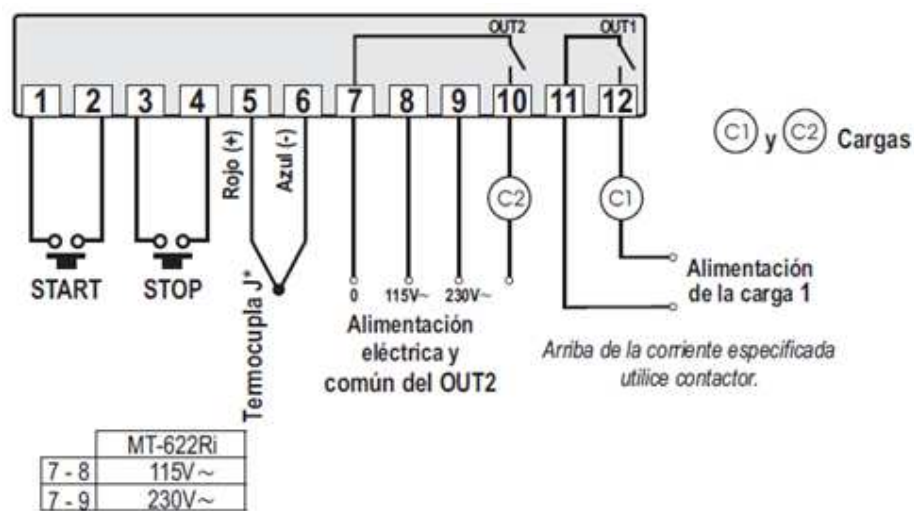
**Tabla 33 Parámetros para Configuración Control de Temperatura MT-622Ri**

Fun	Descripción	CELSIUS				FAHRENHEIT			
		Min	Máx	Unid	Padrón	Min	Máx	Unid	Padrón
F01	Código de acceso (123)	-	-	-	-	-	-	-	-
F02	Corrimiento de indicación (offset)	-10	10	°C	0	-18	18	°F	0
F03	Modo de operación de la 1ª etapa	0	1	-	1	0	1	-	1
F04	Mínimo setpoint permitido al usuario final (1ª etapa)	-50	600	°C	-50	-58	999	°F	-58
F05	Máximo setpoint permitido al usuario final (1ª etapa)	-50	600	°C	600	-58	999	°F	999
F06	Diferencial de control (histerésis) de la 1ª etapa	1	20	°C	1	1	32	°F	2
F07	Retardo mínimo para conectar la salida de la 1ª etapa	0	999	seg	0	0	999	seg	0
F08	Modo de operación de la 2ª etapa	0	9	-	1	0	9	-	1
F09	Mínimo setpoint permitido al usuario final (2ª etapa)	-50	600	°C	-50	-58	999	°F	-58
F10	Máximo setpoint permitido al usuario final (2ª etapa)	-50	600	°C	600	-58	999	°F	999
F11	Diferencial de control (histerésis) de la 2ª etapa	1	40	°C	1	1	72	°F	2
F12	Retardo mínimo para conectar la salida de la 2ª etapa	0	999	seg	0	0	999	seg	0
F13	Tiempo de inhibición de la alarma para conectar el instrumento	0	999	min	0	0	999	min	0
F14	Tiempo de ALARMA/TIMER activado	0	999	seg/min	1	0	999	seg/min	1
F15	Tiempo de ALARMA/TIMER desactivado	0	999	seg/min	1	0	999	seg/min	1
F16	Tiempo de reactivación de la alarma al inhibirse manualmente	999	999	-	999	999	999	-	999
F17	Base de tiempo del temporizador cíclico	0	3	-	0	0	3	-	0
F18	Tiempo para activación del temporizador cíclico de la 2ª etapa	0	999	seg	5	0	999	seg	5
F19	Modo de operación del Buzzer	0	2	-	1	0	2	-	1
F20	Punto de actuación del Buzzer (límite inferior)	-50	600	°C	-50	-58	999	°F	-58
F21	Punto de actuación del Buzzer (límite superior)	-50	600	°C	600	-58	999	°F	999
F22	Tiempo del Buzzer conectado	0	999	seg	1	0	999	seg	1
F23	Tiempo del Buzzer desconectado	0	999	seg	1	0	999	seg	1
F24	Tiempo de inhibición del Buzzer en la energización	0	999	min	0	0	999	min	0
F25	Tiempo de reactivación del Buzzer al inhibirse manualmente	999	999	min	999	999	999	min	999
F26	Tiempo del proceso	1	999	seg/min	1	1	999	seg/min	1
F27	Habilitación y modo de visualización del proceso	0	2	-	2	0	2	-	2
F28	Alerta audible al final del proceso (Buzzer)	0	1	-	1	0	1	-	1
F29	Base de tiempo del temporizador	0	1	-	0	0	1	-	0
F30	Intensidad del filtro digital	0	9	-	0	0	9	-	0

Fuente: <http://www.megafriosa.com/catalogos/FULL%20GAUGE/MT622V01-01-12231-ESP.pdf>

Para realizar las conexiones correspondientes al circuito de control, se deberá seguir el diagrama ilustrado en la Figura 71, tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

- Instalar protectores contra sobretensiones en la alimentación.
- Los cables de sensores y de señales de computadora pueden estar juntos; sin embargo, no en el mismo electroducto por donde pasa la alimentación eléctrica y la activación de cargas.



**Figura 71 Esquema de Conexión.**

Fuente: <http://www.megafriosa.com/catalogos/FULL%20GAUGE/MT622V01-01-12231-ESP.pdf>

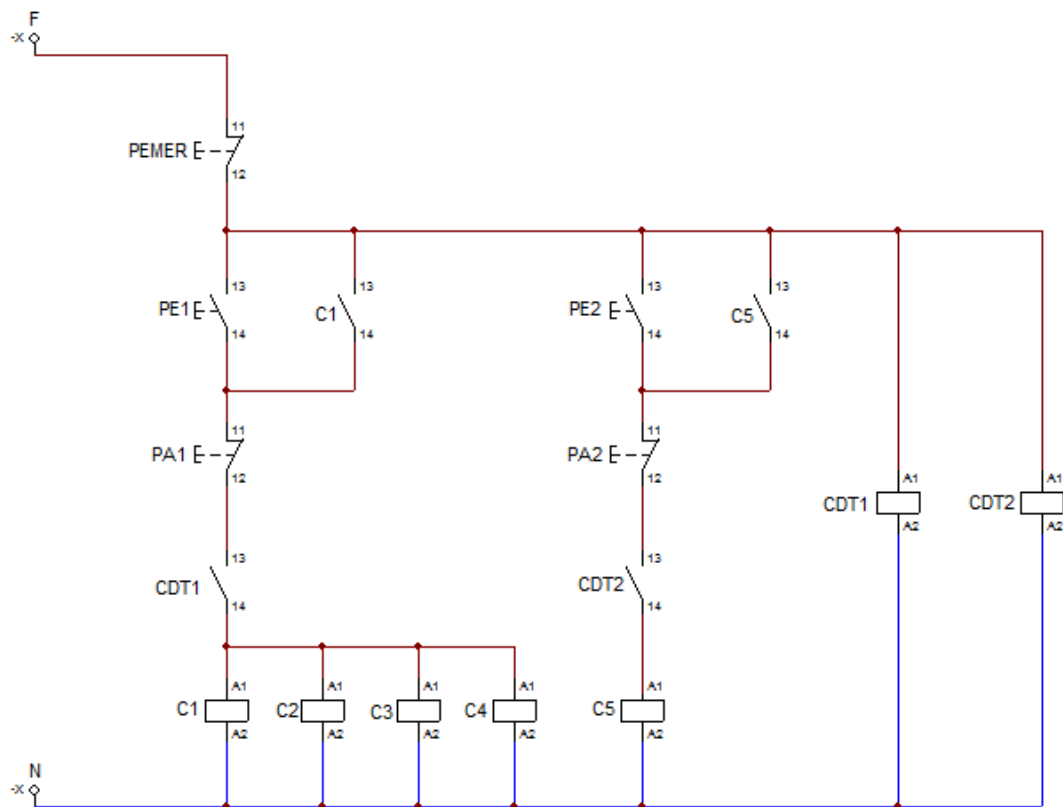
#### 4.7.1.4 CONEXIONAMIENTO Y SELECCIÓN DE PROTECCIONES

En vista que el control de temperatura conlleva el manejo de tensiones y potencial elevadas, existirán por consecuencia un circuito de control y uno de potencia.

### Circuito de Control

Como ya es conocido, el circuito de control será el encargado de interpretar señales provenientes de sensores o comandos pulsadores para de ésta manera generar el accionamiento de los correspondientes actuadores.

En la Figura 72 se encuentra ilustrado el diagrama del circuito de control que se ha diseñado para el manejo de los elementos de potencia, que generarán la calefacción tanto de la mesa de empalme como de la placa móvil.



**Figura 72 Diagrama del Circuito de Control para el Sistema Térmico.**

Donde se describen los siguientes elementos:

- PEMER: Pulsador normalmente cerrado de Emergencia.



- PE1: Pulsador de encendido 1
- PE2: Pulsador de encendido 2
- PA1: Pulsador de apagado 1
- PA2: Pulsador de apagado 2
- CDT1: Controlador MT-622Ri para Placa Móvil
- CDT2: Controlador MT-622Ri para Mesa de Empalme
- C1: Bobina de contactor para Placa Móvil 1
- C2: Bobina de contactor para Placa Móvil 2
- C3: Bobina de contactor para Placa Móvil 3
- C4: Bobina de contactor para Placa Móvil 4
- C5: Bobina de contactor para Mesa de Empalme

### *Funcionamiento*

El circuito de control estará conectado al sistema de distribución de toda la planta, por lo que al estar en funcionamiento toda la línea de producción se energizarán los controladores MT-622Ri. Por lo tanto conmutarán sus contactos normalmente abiertos y el circuito estará listo para ser accionado.

El circuito constará de dos accionamientos manuales, mediante los cuales se energizan las bobinas C1 y C2, al accionarse dichas bobinas el circuito de potencia se activará y por lo tanto el proceso de calefacción iniciará. Posterior a esto, al momento de llegar cada sistema a su temperatura deseada, los controladores desactivarán sus contactos y consecuentemente las bobinas C1 y C2. Se han dispuesto pulsadores de paro para cada sistema, por si se requiere desactivarlos independientemente del parámetro de temperatura.

También se ha integrado un paro de emergencia, puesto que en caso de cualquier imprevisto o accidente sea posible desactivar de inmediato todo el proceso de calefacción.

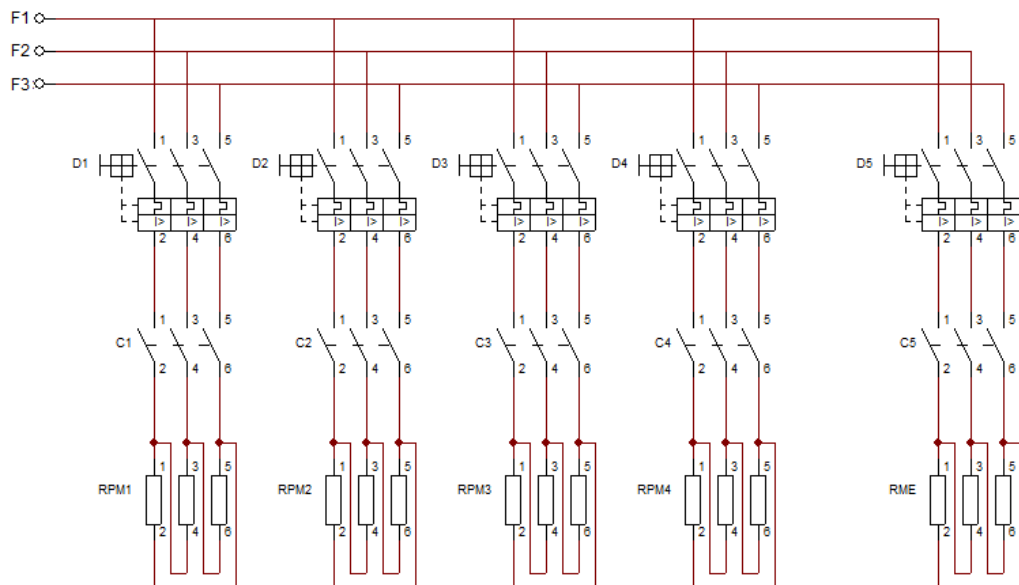
### Circuito de Potencia

El circuito de potencia será el encargado de generar la conexión de los elementos dispuestos en el sistema para llevar a cabo la calefacción.

Puesto que el sistema eléctrico de la planta es trifásico, la conexión de las resistencias eléctricas se realizará con una configuración delta. Por lo que en el caso de la placa móvil se dispondrá de 4 contactores que manejarán una configuración delta cada uno, como se observa en el diagrama del circuito en la Figura 73.

El circuito consta de:

- D1, D2, D3, D4, D5: 5 disyuntores para protección de sobrecarga.
- C1, C2, C3, C4, C5: determina los contactos pertenecientes a los 5 contactores del circuito de control.
- RPM: Resistencias de la Placa Móvil (bloques de 3 resistencias cada uno).
- RME: Resistencias de la Mesa de Empalme.



**Figura 73 Diagrama del Circuito de Potencia para el Sistema Térmico**

### *Dimensionamiento de las Protecciones*

Para poder determinar las protecciones necesarias para el circuito de potencia hay que considerar dos parámetros:

- Tipo de carga
- Potencia nominal de la carga

Puesto que la carga que se desea conectar son resistencias eléctricas, no requiere de mayores protecciones. Sin embargo siempre se debe considerar que todo circuito eléctrico está sujeto a sobrecargas, por lo que se ha definido la utilización de disyuntores.

Para seleccionar los disyuntores adecuados se debe determinar la corriente que conducirá el circuito, para esto se calcula:

$$P = 1.73 * V * I$$

$$I = \frac{P}{V * 1.73}$$

$$I = \frac{3000 \text{ W}}{1.73 * 240 \text{ V}}$$

$$I = 7.22 \text{ Amp}$$

Esa será la corriente que conducirá cada bloque de resistencias para la placa móvil, por lo tanto los disyuntores D1, D2, D3 y D4 deberán ser de 10 Amp.

Para el caso de la mesa de empalme se tiene:

$$P = 1.73 * V * I$$

$$I = \frac{P}{V * 1.73}$$

$$I = \frac{10800 \text{ W}}{1.73 * 240 \text{ V}}$$

$$I = 26.01 \text{ Amp}$$

El disyuntor adecuado para el circuito perteneciente a la mesa de empalme será entonces uno de 30 Amp.

#### **4.7.2 SISTEMA DE CONTROL DE TENSIÓN**

Como ya se analizó en el capítulo 2, el control de tensión está basado prácticamente en la manipulación de la velocidad de desbobinado de los rollos de materia prima. Por lo tanto se ha definido tres componentes primordiales que conforman el sistema deseado, que son:

- Dos celdas de carga, como el elemento sensor.
- Un transductor de presión, como elemento actuador, y;
- Un panel de control.

A continuación se describe la selección de cada uno de los elementos mencionados.

##### **4.7.2.1 CELDAS DE CARGA MAGPWER TS-75-SCM**

Las celdas de carga Magpowr son de doble puente completo de Wheatstone, lo que proporciona una muy alta sensibilidad. Son celdas de una construcción robusta, con topes mecánicos de sobrecargas, para medir con precisión tensiones en la banda continua, con diseño de construcción de doble viga para proporcionar salida lineal bajo cualquier lectura de tensión. Son de fácil instalación.



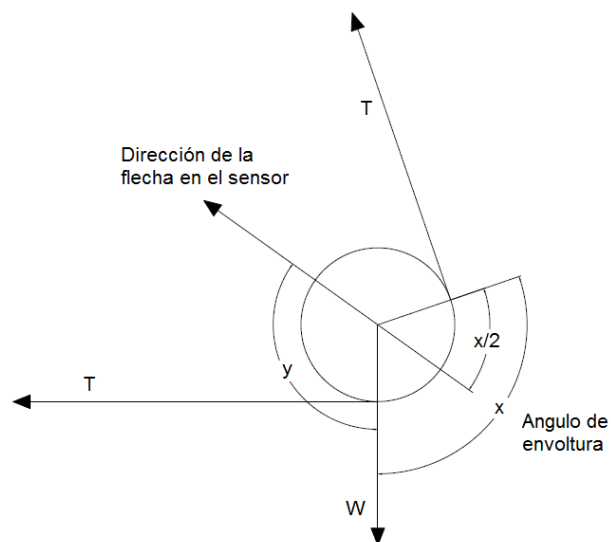
**Figura 74 Celda de Carga Modelo TS de CopleBipartido**

Fuente: <http://www.ttemsa.mx/celdasdecarga.html>

Para seleccionar la celda de carga, se debe calcular la carga total en el rodillo loco. Esta carga consiste de los componentes de tensión en el plano de detección, además de los componentes de peso del rodillo. La ecuación para esta carga es:

$$CARGA = 2T(\sin x/2) + (W \cos y)$$

Tomando como referencia el diagrama descrito en la Figura 75, en el cual corresponde al DCL del rodillo loco.



**Figura 75 DCL del Rodillo Loco**

Fuente: <http://www.ttemsa.mx/celdasdecarga.html>

$$CARGA = \frac{(4T(\sin x/2) + (W \cos y))}{2}$$

De acuerdo a un análisis realizado en la línea de producción actual de Chova, se ha definido que la tensión óptima de trabajo de la lámina es de aproximadamente 450 N.

Los ángulos de las diferentes componentes de carga se pueden calcular a partir del dato de la Figura 76 en la cual nos describe el ángulo de la lámina de materia prima posterior al paso por el rodillo loco.

El peso del rodillo loco es un dato conocido y corresponde a 27 kg, lo que equivale a 264.4 N. Una vez definidos dichos datos, se procede a realizar el cálculo:

$$CARGA = \frac{(4(450N)(\sin 54.5^\circ) + (264.6N * \cos 126^\circ))}{2}$$

$$CARGA = 674.94 N \approx 69 kg$$

Por lo tanto el modelo de celda de carga adecuada para el control de tensión de las fibras de materia prima es la TS-75-SCM. Puesto que está diseñado para soportar una carga de 75 kg.

#### *Especificaciones Técnicas*

- Resistencia de banda: 350 ohms
- Tensión de alimentación: 10 vdc nominal
- Señal de salida: 21 mvdc nominal (a carga total)
- Temperatura de operación: -30°C a 90°C
- Histéresis: 0.5% de la máxima escala

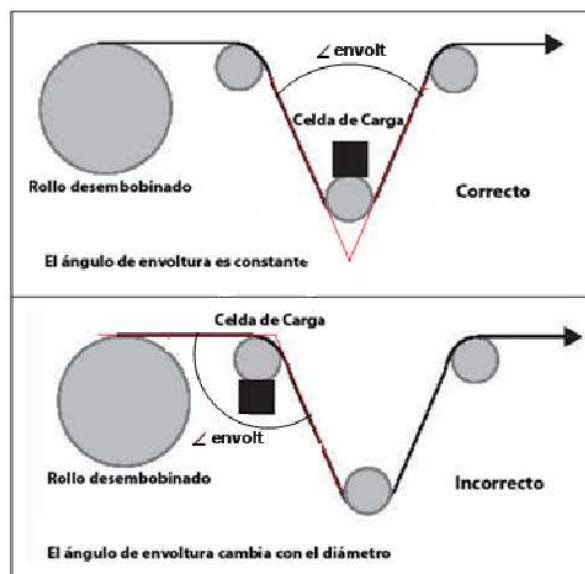
- Repetibilidad: 0.2% de la máxima escala
- Deflexión a plena carga: 0.41 mm máximo

Hay dos aspectos muy importantes que se deben considerar para realizar una correcta medición de la tensión que mantiene la lámina durante su recorrido, los cuales se explican a continuación:

### *Angulo de Envoltura*

Se refiere al área de contacto que debe existir entre el rodillo loco, que se sujeta por las celdas de carga, y la lámina de materia prima. Puesto que mientras mayor sea éste, más confiable será la lectura del sensor.

El ángulo de envoltura es el que forman las prolongaciones de los extremos de la lámina de materia prima cuando ésta hace contacto con el rodillo loco. Está íntimamente relacionado con la posición que debe tener la celda de carga puesto que debe alinearse a la bisectriz de dicho ángulo, como se indica en la Figura 76; para mantener la mayor área de contacto posible.

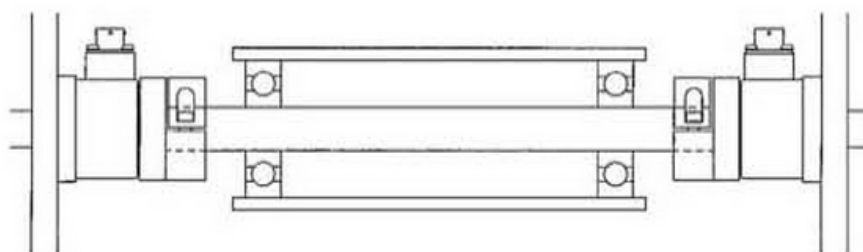


**Figura 76 Posicionamiento Correcto e Incorrecto de las Celdas de Carga con respecto al Angulo de Envoltura**

### *Peso del Rodillo Loco*

Para que no exista error en la lectura de las celdas de carga, se debe asegurar que el peso del rodillo loco no exceda el definido por el fabricante, dependiendo del modelo de celda que se posee. Para el caso de las celdas seleccionadas el rodillo loco no podrá superar los 50Kg de peso.

Habiendo tomado en cuenta dichas consideraciones se procede a la instalación, como se indica en la Figura 77.



**Figura 77 Instalación Típica del acople Rodillo Loco y Celdas de Carga**

Fuente: <http://www.ttemsa.mx/celdasdecarga.html>

#### **4.7.2.2 TRANSDUCTOR DE PRESIÓN MAGPWER IPT**

En vista de que el control se lo realizará mediante el uso de un freno neumático, el cual está acoplado al eje de a bobina de materia prima; se ha seleccionado el transductor de presión. Su función básicamente es la de transformar la información generada por el sensor (celdas de carga) y mediante un circuito eléctrico, permitir el paso total o proporcional del aire comprimido al freno, así como también puede realizar el vaciado del mismo.

Logrando con esto el frenado total o parcial del eje de la bobina, se acuerdo a lo requerido.

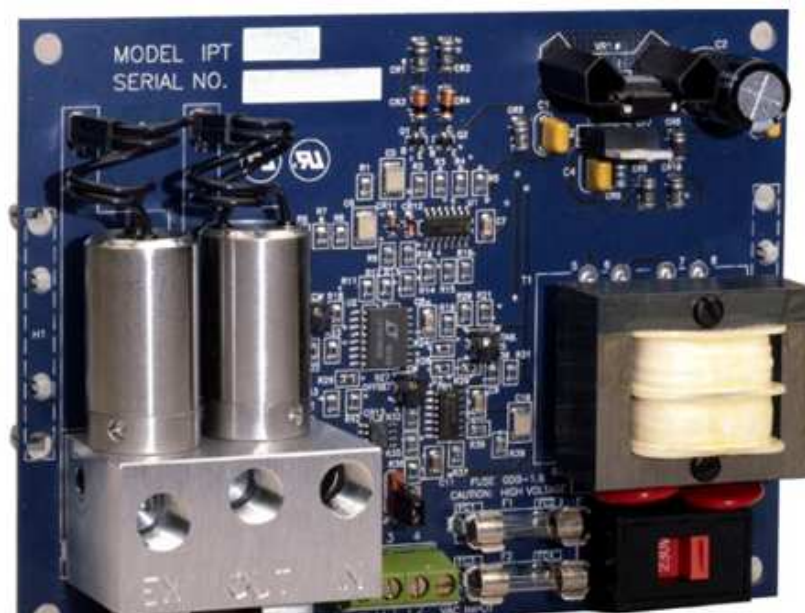
El modelo IPT es un controlador de presión a nivel de tablero para ser montado en una carcasa de la máquina. Incorpora una válvula de entrada,



una válvula de escape, y un sensor de presión en un todo colector común montado directamente a la placa de circuito impreso.

El IPT opera mediante la comparación de la presión real, según lo medido por el sensor de presión, a la señal de entrada de referencia de punto de ajuste. La señal de control puede ser o bien de 4 a 20 mA, o de 0 a 10 Vdc.

Si la presión real es menor que la ajustada, se abre la válvula de entrada para aumentar la presión. Si la presión real es mayor, la válvula de escape se abre para disminuir la presión.



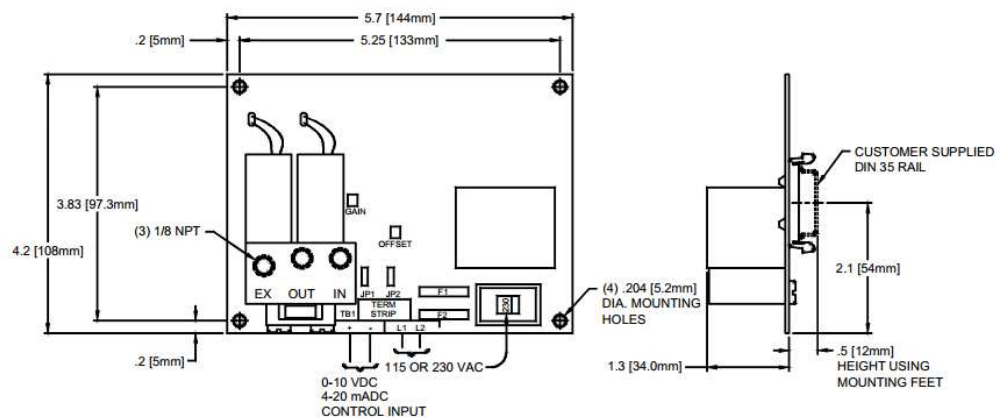
**Figura 78 Transductor de Presión MAGPOWR ITP**

Fuente: <http://magpowr.maxcessintl.com/tension-control/magpowr-ipt-current-pressure-transducer>

### *Especificaciones Técnicas*

- Voltaje de entrada: 115/230 Vac $\pm$ 10%, 50/60 Hz.

- Entrada de control: 4 a 20 mA / impedancia de entrada de 249 ohms
- Entrada de control: 0 a 10 Vdc / impedancia de entrada de 10 kohms
- Presión de salida: 0 a 80 psig
- Presión máxima de suministro: 150 psig
- Presión mínima de trabajo: mayor que la máxima presión de salida deseada
- Linealidad, histéresis y repetibilidad: 0.5% de la escala completa



**Figura 79 Esquema Descriptivo del MAGPOWR ITP**

Fuente: <http://magpowr.maxcessintl.com/tension-control/magpowr-ipt-current-pressure-transducer>

#### 4.7.2.3 LECTURA DE TENSIÓN DIGITAL Y CONTROL CYGNUS-E

Una vez que se han definido los elementos sensores y actuadores, deber existir un equipo encargado del mando y operación de los mismos para poder cerrar el lazo de control del sistema.



**Figura 80 Controlador CYGNUS-E**

Fuente: <http://magpowr.maxcessintl.com/tension-control/magpowr-ipt-current-pressure-transducer>

El MAGPOWR® Modelo CYGNUS® (Ver Figura 80) es un control basado en microprocesador diseñado para un control preciso de la tensión de circuito cerrado de una banda en movimiento. El CYGNUS es capaz de controlar la tensión de la banda en el desenrollado, aplicaciones de rebobinado, o de punto a punto en cualquier rotativa.

#### *Especificaciones Técnicas*

- Tensión de alimentación: 115 / 230 Vac,  $\pm 10\%$ , 24 VA
- Frecuencia de alimentación: 50 / 60 Hz
- Fusibles: 1.6 Amp
- Carcasa: IP65 (IEC529)
- Rango de temperatura de trabajo: 0°C a 40°C
- Rango de temperatura de almacenamiento: -30°C a 80°C

## CAPÍTULO 5

### 5. CONTRUCCIÓN, IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS DEL SISTEMA

#### 5.1 SISTEMA MECÁNICO

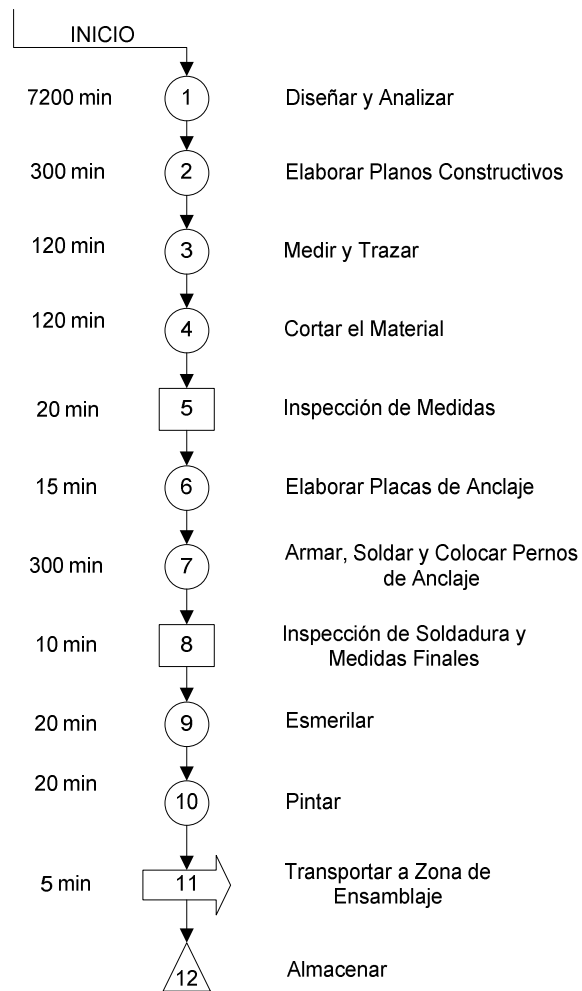
El sistema mecánico usado para la empalmadora de rollos está compuesto de los siguientes elementos.

##### 5.1.1 ESTRUCTURA

De acuerdo al diseño realizado en el capítulo anterior, y a los planos de construcción ver ANEXO A – PLANOS DE CONTRUCCIÓN Y ENSAMBLE, se fabrica la estructura del sistema empalmador. El diagrama de flujo se observa en el Gráfico 1 y la lista de materiales en la Tabla 34.



**Figura 81 Unión de Tubos con Soldadura**



**Gráfico 1 Diagrama de Flujo de la Construcción de la Estructura**



**Figura 82 Estructura con Fondo Antioxidante**

**Tabla 34 Lista de Materiales utilizados en la Construcción de la Estructura**

<b>MATERIALES</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>
Tubo Estructural 150 X 50 X 3 mm	9
Tubo Estructural 100 X 50 X 3 mm	3
IPE 120 Largo: 1840 mm	2
UPN 120 Largo: 1636 mm	1
Plancha A36 Espesor 12 mm	1
Pernos 5/8" X 1 3/4"	8
Tuercas 5/8"	8
Arandelas de Presión	8
Disco de Corte	-
Electrodos 6010	-
Broca para Acero	-
Fondo Antioxidante	-
Pintura Esmalte Plomo	-

**Tabla 35 Lista de Herramientas utilizadas en la Construcción de la Estructura**

<b>HERRAMIENTAS</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>
Amoladora/Esmeril	2
Soldadora SMAW	1
Taladro	1
Llave de Tuercas	2
Flexómetro	2
Escuadra	2
Nivel	2
Compresor	1

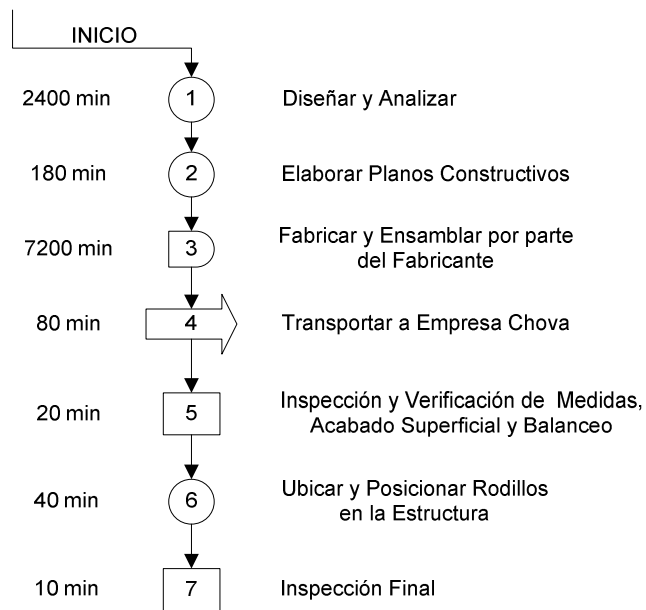
### 5.1.2 RODILLOS DE TENSIÓN

Los elementos se enviaron a manufacturar a un fabricante que garantizó balanceo estático, en base al diseño y los planos de construcción ver ANEXO A – PLANOS DE CONTRUCCIÓN Y ENSAMBLE. Según el estudio realizado para la tensión de la lámina se utilizan seis rodillos.

El ensamble a la estructura se hace con chumaceras de pared y piso, respectivamente. El rodillo para control de tensión se cotizó con el proveedor de las celdas de carga.



**Figura 83 Rodillo de 4 plg para las Celdas de Carga**



**Gráfico 2 Diagrama de Flujo de la Construcción e Implementación de los Rodillos de Tensión**



**Figura 84 Rodillo de Tensión de la Lámina de 6 plg**

**Tabla 36 Lista de Materiales utilizados en la Construcción e Implementación de los Rodillos de Tensión**

MATERIALES	
Descripción	Cantidad
Rodillos de Tensión	5
Rodillo para Celdas de Cargas	1
Chumaceras de Pared SKF FY 30 TF	8
Chumaceras de Piso SKF SY 30 TF	2
Placa A36 160 X 50 X 12 mm	2
Placa A36 120 X 120 X 12 mm	8
Pernos 1/2" X 1"	32
Pernos 1/2" X 1 1/4"	4



Arandelas Planas	36
Arandelas de Presión	4
Disco de Corte	-
Electrodos 6010	-
Broca para Acero	-
Machuelos UNC	-

**Tabla 37 Lista de Herramientas utilizadas en la Construcción e Implementación de los Rodillos de Tensión**

<b>HERRAMIENTAS</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>
Amoladora/Esmeril	1
Soldadora SMAW	1
Taladro	1
Llave para Machuelo	1
Llave de Tuercas	1
Flexómetro	1
Escuadra	1
Nivel	1

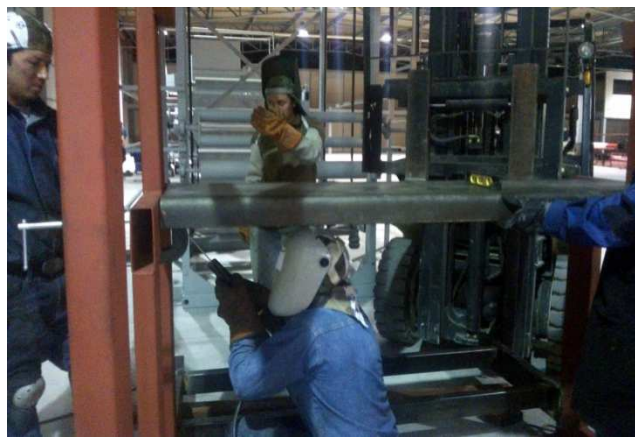
### 5.1.3 MESA DE EMPALME

Según el diseño y planos de construcción ver ANEXO A – PLANOS DE CONTRUCCIÓN Y ENSAMBLE se determina que la plancha utilizada debe doblarse en los bordes para conseguir que la superficie de contacto sea totalmente plana. El componente es empernada a la estructura para que pueda ser desmontable.

Las tres resistencias Tipo U hacen contacto a la mesa de empalme, están sujetas con placas dobladas que se acoplan a pernos soldados a la cara inferior de la mesa y se ajustan por medio de tuercas.



**Figura 85 Resistencias Tipo U Acopladas a la Mesa de Empalme**

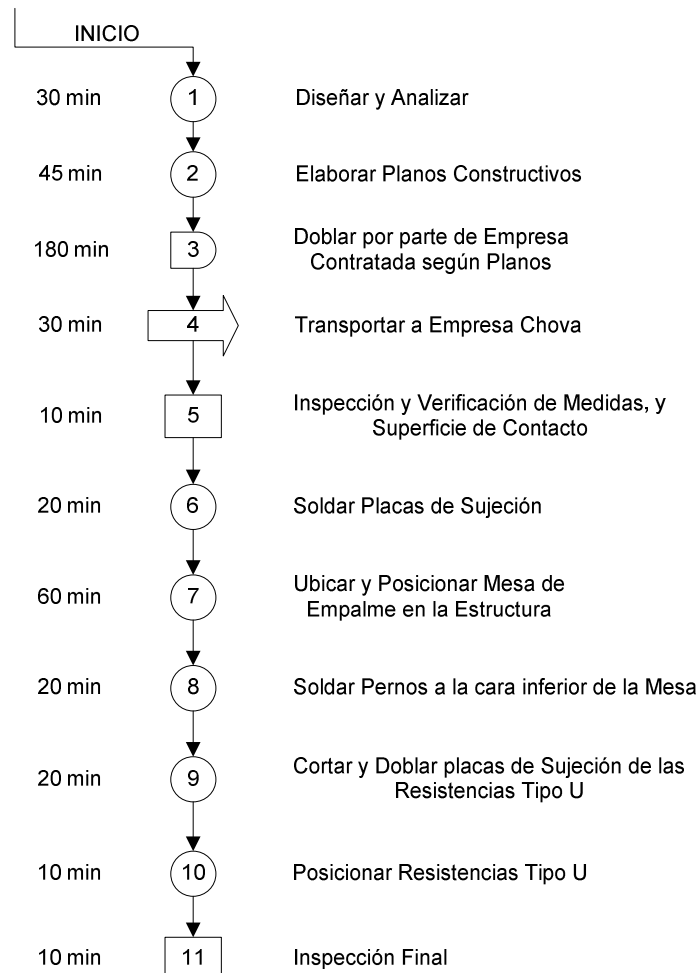


**Figura 86 Ensamble de la Mesa de Empalme a la Estructura**



**Figura 87 Mesa de Empalme**

En el Gráfico 3 se indica el diagrama de flujo y la lista de materiales en la Tabla 38.



**Gráfico 3 Diagrama de Flujo de la Construcción e Implementación de la Mesa de Empalme**

**Tabla 38 Lista de Materiales utilizados en la Construcción e Implementación de la Mesa de Empalme**

MATERIALES	
Descripción	Cantidad
Plancha A36 Espesor 12 mm	1
Pernos 5/8" X 1"	6
Tuercas 5/8"	6
Arandelas Planas	6

Arandelas de Presión	6
Pernos 3/8" X 1"	15
Tuercas 3/8"	15
Placas 70 X 20 X 2 mm	15
Disco de Corte	-
Electrodos 6010	-
Broca de para Acero	-
Machuelos UNC	-
Fondo Antioxidante	-
Pintura Esmalte Plomo	-

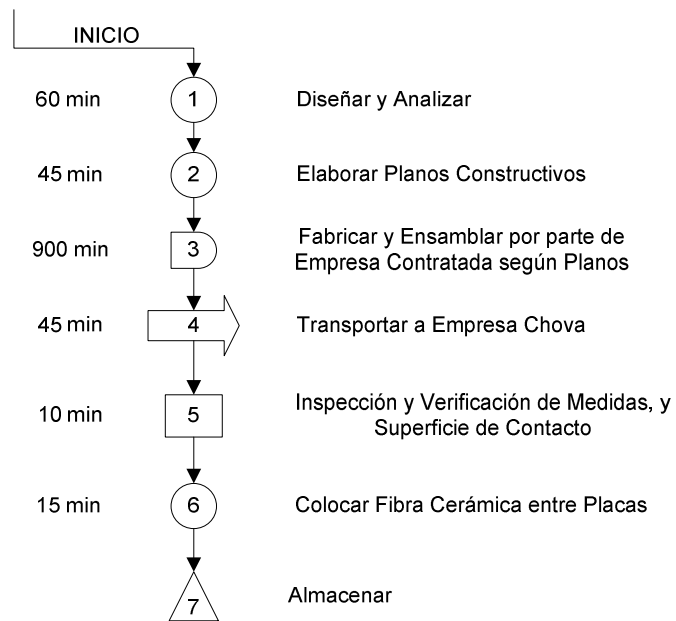
**Tabla 39 Lista de Herramientas utilizadas en la Construcción e Implementación de la Mesa de Empalme**

<b>HERRAMIENTAS</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>
Amoladora/Esmeril	1
Soldadora SMAW	1
Taladro	1
Llave para Machuelo	1
Llave para Tuercas	1
Flexómetro	2
Escuadra	1
Nivel	1
Compresor	1

#### **5.1.4 PLACA TÉRMICA**

La placa térmica está compuesta de dos placas A36, la primera de espesor de 1 pulgada y la segunda de 3 mm, entre ellas se coloca fibra cerámica para aislar el calor en la parte superior donde se conectan los cilindros neumáticos. Tiene 12 canales donde van las resistencias eléctricas.

Ver ANEXO A – PLANOS DE CONTRUCCIÓN Y ENSAMBLE, diagrama de flujo en el Gráfico 4 y lista de materiales en la Tabla 40.



**Gráfico 4 Diagrama de Flujo de la Construcción de la Placa Térmica**



**Figura 88 Placas de 1" y 3 mm de Espesor**



**Figura 89 Fibra Cerámica**



**Figura 90 Placa Térmica Ensamblada**

**Tabla 40 Lista de Materiales utilizados en la Construcción e Implementación de la Placa Térmica**

<b>MATERIALES</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>
Placa A36 1200 X 300 X 25.4 mm	1
Placa A36 1200 X 300 X 3 mm	1
Resistencia Tipo Cartucho de 1/2"	12
Fibra Cerámica	1
Pernos 1/2" X 1 1/4"	4
Arandelas Planas	4
Pernos 7/16" X 1 1/4"	8
Arandelas Planas	8
Arandelas de Presión	8
Broca para Acero	-
Machuelos UNC	-

**Tabla 41 Lista de Herramientas utilizadas en la Construcción e Implementación de la Placa Térmica**

<b>HERRAMIENTAS</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>
Taladro	1
Llave para Machuelo	1
Llave de Tuercas	1
Flexómetro	2

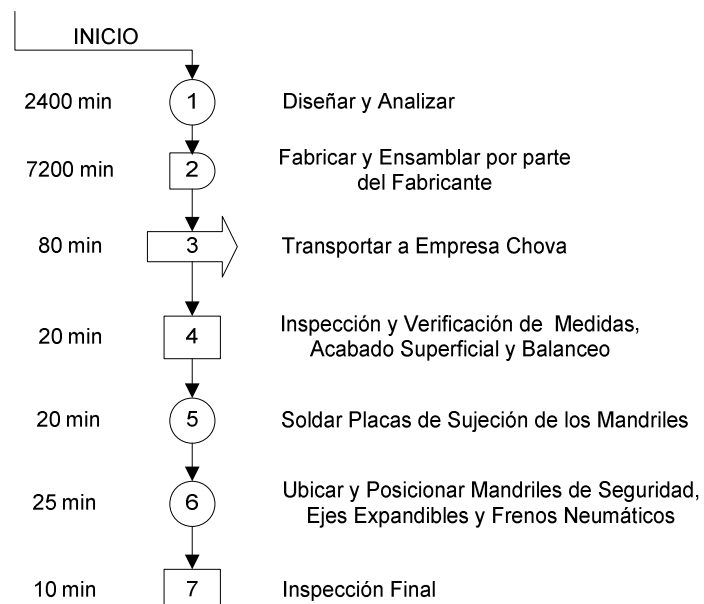
### 5.1.5 MONTAJE DE LOS EJES EXPANDIBLES PORTABOBINAS

Los ejes expandibles se posicionan en la estructura de acuerdo al diseño realizado, se colocan el mandril de seguridad y el mandril de seguridad para el freno neumático para cada eje en la estructura.



**Figura 91 Eje Expandible Portabobina**

En el Gráfico 5 se describe el diagrama de flujo y la lista de materiales en la Tabla 42.



**Gráfico 5 Diagrama de Flujo del Montaje de los Ejes Expandibles**

**Tabla 42 Lista de Materiales utilizados en el Montaje de los Ejes Expandibles**

<b>MATERIALES</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>
Ejes Expandibles Portabobinas	2
Mandril de Seguridad	2
Mandril de Seguridad para Freno Neumático	2
Frenos Neumáticos	2
Placa A36 200 X 50 X 12 mm	4
Pernos 5/8" X 1 1/2'	8
Arandelas Planas	8
Arandelas de Presión	8
Disco de Corte	-
Electrodos 6010	-
Broca para Acero	-
Machuelos UNC	-

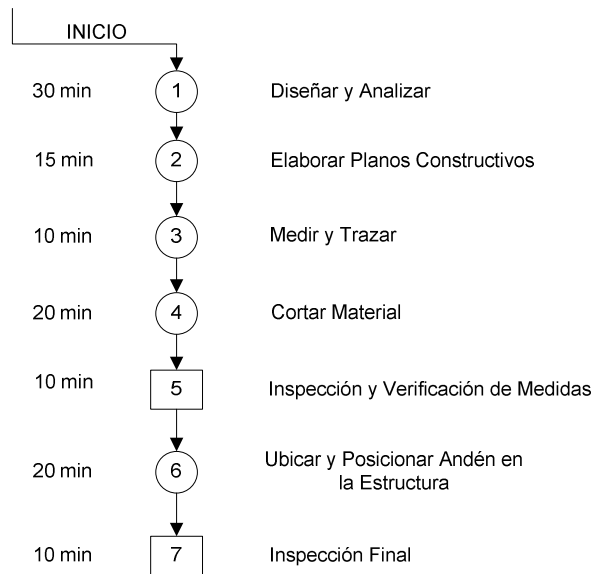
**Tabla 43 Lista de Herramientas utilizados en el Montaje de los Ejes Expandibles**

<b>HERRAMIENTAS</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>
Amoladora/Esmeril	1
Soldadora SMAW	1
Taladro	1
Llave de Tuercas	1
Llave para Machuelo	1
Flexometro	1
Escuadra	1
Nivel	1

### 5.1.6 ANDÉN PARA OPERADOR

De acuerdo al diseño el andén se hizo de plancha de acero antideslizante. En el Gráfico 6 se explica el diagrama de flujo.





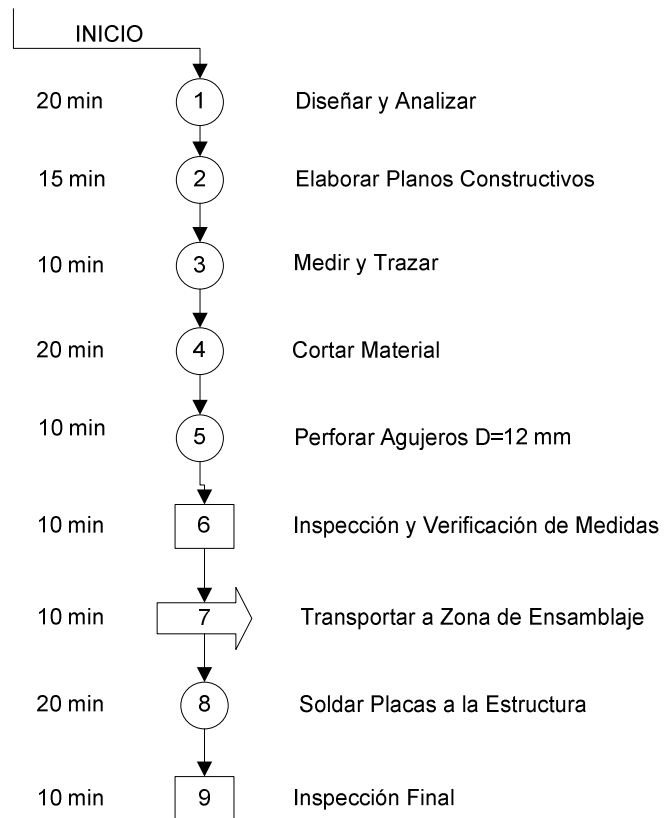
**Gráfico 6 Diagrama de Flujo de la Construcción e Implementación del Andén para Operador**



**Figura 92 Andén para Operador**

### 5.1.7 PLACAS DE SUJECIÓN PARA CELDAS DE CARGA

Según las dimensiones de las celdas de carga, se fabricó placas de sujeción que están soldadas a la estructura. El diagrama de flujo se observa en el Gráfico 7.



**Gráfico 7 Diagrama de Flujo de la Construcción e Implementación de las Placas de Sujeción de las Celdas de Carga**



**Figura 93 Celda de Carga Sujeta a la Placa**

**Tabla 44 Lista de Materiales utilizados en la Construcción e Implementación de las Placas de Sujeción para Celdas de Carga**

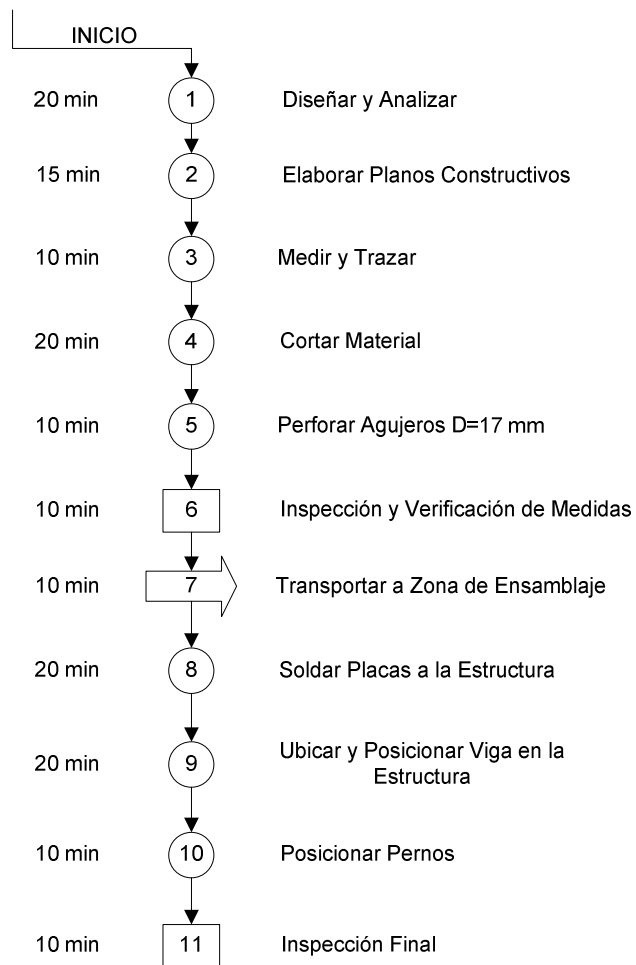
<b>MATERIALES</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>
Placas A36 245 X 100 X 12 mm	2
Pernos 5/8" X 1 1/4"	2
Arandelas Planas	2
Disco de Corte	-
Electrodos 6010	-
Broca para Acero	-
Fondo Antioxidante	-
Pintura Esmalte Plomo	-

**Tabla 45 Lista de Herramientas utilizadas en la Construcción e Implementación de las Placas de Sujeción para Celdas de Carga**

<b>HERRAMIENTAS</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>
Amoladora/Esmeril	1
Soldadora SMAW	1
Taladro	1
Llave de Tuercas	1
Flexómetro	2

### **5.1.8 VIGA PARA DESLIZAMIENTO DEL SISTEMA POLIPASTO**

En base a las dimensiones del polipasto, se determinó utilizar una viga IPE 20 de 4200 mm de largo. El ensamble a la estructura se hizo con placas soldadas a la estructura y a la viga, respectivamente.



**Gráfico 8 Diagrama de Flujo de la Construcción e Implementación de la Viga para Deslizamiento del Sistema Polipasto**



**Figura 94 Viga IPE 20 Ensamblada a la Estructura**

**Tabla 46 Lista de Materiales utilizados en la Construcción e Implementación de la Viga para Deslizamiento del Sistema Polipasto**

<b>MATERIALES</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>
IPE 200 L: 4200 mm	1
Placas A36 180 X 150 X 12 mm	4
Pernos 5/8" 1 3/4"	8
Tuercas 5/8"	8
Arandelas de Presión	8
Disco de Corte	-
Electrodos 6010	-
Broca para Acero	-
Fondo Antioxidante	-
Pintura Esmalte Plomo	-

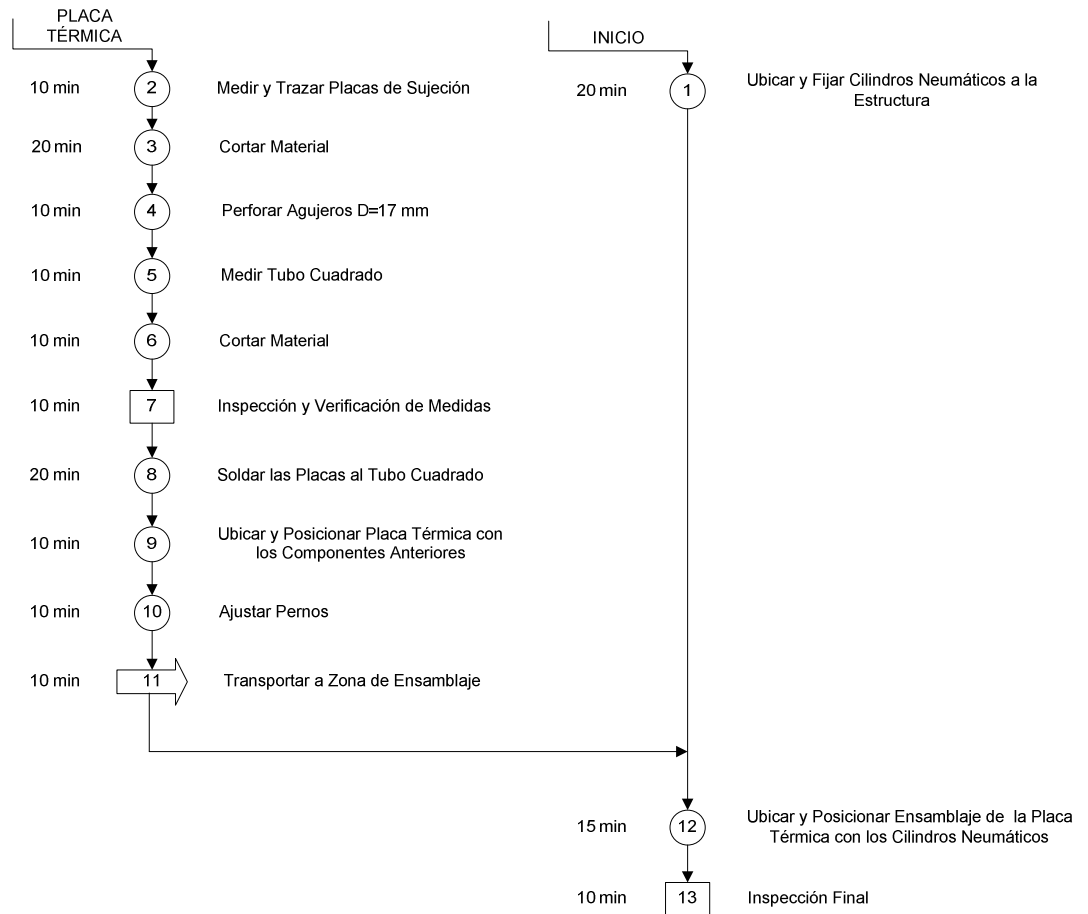
**Tabla 47 Lista de Herramientas utilizadas en la Construcción e Implementación de la Viga para Deslizamiento del Sistema Polipasto**

<b>HERRAMIENTAS</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>
Amoladora/Esmeril	2
Soldadora SMAW	1
Taladro	1
Llave de Tuercas	2
Flexómetro	1
Escuadra	2
Nivel	1
Compresor	1

### **5.1.9 ENSAMBLAJE DE LA PLACA TÉRMICA Y LOS CILINDROS NEUMÁTICOS**

Posterior a la construcción de la placa térmica y adquisición de los cilindros neumáticos, se procede al ensamble de las partes según plano de montaje ver ANEXO A – PLANOS DE CONTRUCCIÓN Y ENSAMBLE y

diagrama de flujo de proceso en el Gráfico 9. La lista de materiales y herramientas se especifica en la Tabla 48 y Tabla 49, respectivamente.



**Gráfico 9 Diagrama de Flujo del Ensamblaje de la Placa Térmica y los Cilindros Neumáticos**



**Figura 95 Ensamble Placa Térmica y Cilindros Neumáticos**

**Tabla 48 Lista de Materiales utilizados en Ensamble de la Placa Térmica y Cilindros Neumáticos**

<b>MATERIALES</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>
Cilindros Neumáticos Doble Efecto	2
Placas A36 121 X82 X 12	2
Pernos Allen Avellanados M10 X 30 mm	8
Pernos 5/8" X 1 3/4"	8
Tuercas 5/8"	8
Placa Térmica	1
Soportes de Unión Tipo L	2
Tubo Estructuras 100 x 100 x 4	1
Pernos 5/8" X 1 1/2"	4
Arandelas de Presión	4
Tuercas M20	2
Electrodos 6010	-
Broca para Acero	-
Machuelos UNC	-
Fondo Antioxidante	-
Pintura Esmalte Plomo	-

**Tabla 49 Lista de Herramientas utilizadas en Ensamble de la Placa Térmica y Cilindros Neumáticos**

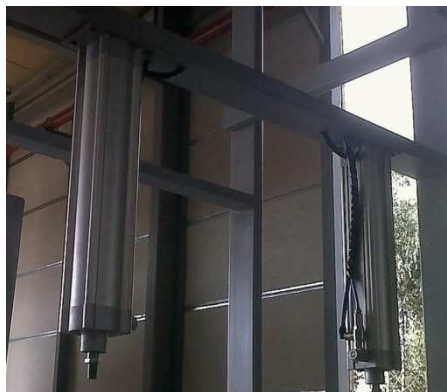
<b>HERRAMIENTAS</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>
Amoladora/Esmeril	2
Soldadora SMAW	1
Taladro	1
Llave para Machuelo	1
Llave de Tuercas	2
Flexómetro	2
Escuadra	2
Nivel	2
Compresor	1

## **5.2 SISTEMA ELÉCTRICO Y CONTROL**

A continuación se detalla la implementación del sistema eléctrico y control en el sistema empalmador.

### **5.2.1 CONTROL DE LOS CILINDROS NEUMÁTICOS**

La conexión de los elementos neumáticos se detalla en el plano ver ANEXO B – PLANOS DE CONTROL Y POTENCIA.



**Figura 96 Cilindros Neumáticos**



**Tabla 50 Lista de Materiales Neumáticos para el Control de Cilindros Neumáticos**

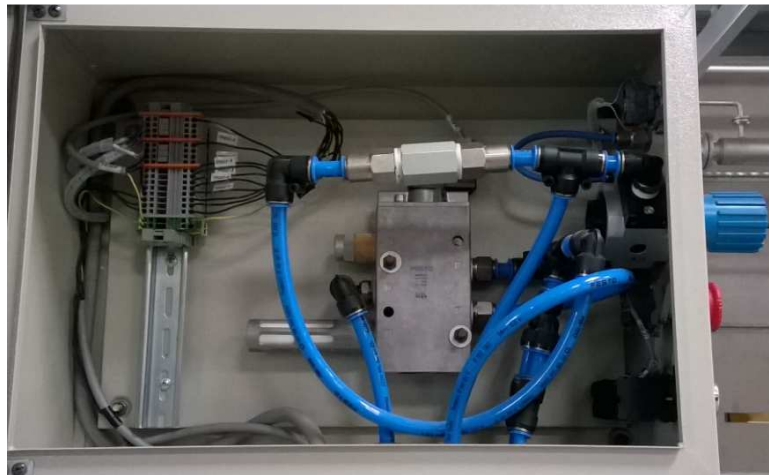
<b>MATERIALES CONEXIÓN NEUMÁTICA</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>
Cilindros Neumáticos Doble Efecto	2
Electroválvula	1
Reguladores de Caudal	2
Válvulas Antiretorno	2
Regulador de Presión para Empuje	1
Válvula Check	1
Unidad de Mantenimiento	1
Manómetro	1
Racor Recto	9
Derivación T	7
Racor Rápido	7
Silenciador	2
Tubo Poliuretano	-

De acuerdo al plano eléctrico ver ANEXO B – PLANOS DE CONTROL Y POTENCIA, se procede a realizar el cableado de los componentes: electroválvula, pulsadores, PLC.

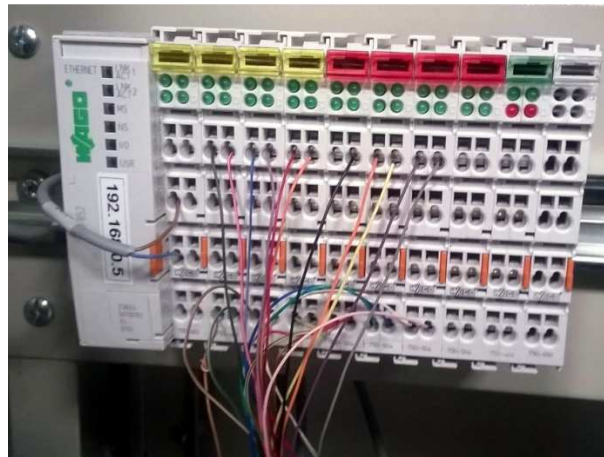
El PLC se encuentra en el control principal del área de laminación de la empresa, los cables de conexión son guiados por canaletas suspendidas del techo de la estructura de la nave industrial. Los elementos electrónicos están localizados en una caja de control (Ver Figura 97).



**Figura 97 Caja de Control de los Cilindros Neumáticos**



**Figura 98 Montaje de los Componentes de Control para los Cilindros Neumáticos**



**Figura 99 Controlador Lógico Programable WAGO**

**Tabla 51 Lista de Materiales Eléctricos y Electrónicos para el Control de Cilindros Neumáticos**

<b>MATERIALES CONEXIÓN ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>
Programador Lógico Programable PLC (marca Wago)	1
Módulo de Entradas y Salidas	1
Touch Panel (marca Brainchild)	1
Pulsadores Momentáneos	2
Pulsador con Bloqueo	1
Borneras para Caja de Control	18
Cable de Conexión	-
Riel para Caja de Control	-
Caja de Control 500 X 350 X 200 mm	1

**Tabla 52 Lista de Herramientas utilizadas en la Conexión del Control de Cilindros Neumáticos**

<b>HERRAMIENTAS CONEXIÓN ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>
Multímetro	1
Cortadora y Peladora de Cables	1
Taladro	1
Destornillador	1

## **5.2.2 CONTROL DE LOS FRENOS NEUMÁTICOS**

Para el control se utiliza el equipo “CYGNUS Digital TensionReadout and Control” (ver Figura 100), donde van conectadas las celdas de carga y equipo de control de presión para los frenos neumáticos.

**Tabla 53 Lista de Materiales Neumáticos para el Control de Frenos Neumáticos**

<b>MATERIALES CONEXIÓN NEUMÁTICA</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>
Frenos Neumáticos	2
Electroválvulas	2
Manómetro	2
Racor Recto	2
Derivación T	1
Tubo Poliuretano	-



**Figura 100 Transductor de Presión - Corriente**



**Figura 101 Freno Neumático**

La lista de materiales se enumera en la Tabla 54.

**Tabla 54 Lista de Materiales Eléctricos y Electrónicos para el Control de Frenos Neumáticos**

<b>MATERIALES CONEXIÓN ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>
CYGNUS Digital TensionReadout and Control	1
Celdas de Carga	2
Selector 3 Posiciones	1
Relés 7 A 250 VAC	2
Switch 220 VAC para Controlador	1
Switch 415 VAC para Transductores de Presión - Corriente	2
Transductor de Presión - Corriente	2
Borneras para Caja de Control	3
Cable de Conexión	-
Riel para Caja de Control	-

**Tabla 55 Lista de Herramientas utilizadas en la Conexión del Control de Frenos Neumáticos**

HERRAMIENTAS CONEXIÓN ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA	
Descripción	Cantidad
Multímetro	1
Cortadora y Peladora de Cables	1
Taladro	1
Destornillador	1

### 5.2.3 CONTROL DE LAS RESISTENCIAS ELÉCTRICAS

Se utiliza dos controladores digitales de marca Full Gauge modelo MT-622R para las resistencias de la placa térmica y la mesa, respectivamente. Todos los componentes eléctricos se encuentran dentro de una caja de control (Ver Figura 102).



**Figura 102 Caja de Control de las Resistencias Eléctricas**



**Figura 103 Conexiones de Potencia de las Resistencias Eléctricas**

La conexión eléctrica se detalla en el plano ver ANEXO B – PLANOS DE CONTROL Y POTENCIA y la lista de materiales en la Tabla 56.



**Figura 104 Resistencias Tipo U**

**Tabla 56 Lista de Materiales Eléctricos y Electrónicos para el Control de las Resistencias Eléctricas**

<b>MATERIALES CONEXIÓN ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>
Resistencia Tipo Cartucho de 1/2"	12
Resistencia Tipo U	3
Control (marca Full Gauge modelo MT-622R )	2
Termocupla Tipo J	2
Pulsadores Doble Momentáneos	2
Pulsador con Bloqueo	1
Contactores 120 VAC	5
Disyuntor 6 KA 415 VAC	5
Cable de Conexión	-
Riel para Caja de Control	-
Caja de Control 300 X 290 X 200 mm	1

**Tabla 57 Lista de Herramientas utilizadas en la Conexión del Control de las Resistencias Eléctricas**

<b>HERRAMIENTAS CONEXIÓN ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>
Multímetro	1
Cortadora y Peladora de Cables	1
Taladro	1
Destornillador	1

### **5.3 PRUEBAS DEL SISTEMA**

Luego de la construcción e implementación del sistema empalmador se realizan pruebas de funcionamiento de los componentes que integran la máquina.

#### **5.3.1 TENSIÓN DE LA LÁMINA**

Para comprobar el control de tensión se puso en operación todo el sistema de laminación, para determinar la velocidad con la cual la lámina pasa por los rodillos de tensión, y la tensión que se genera en las celdas de carga.

**Tabla 58 Pruebas Realizadas del Control de Tensión en MODO MANUAL**

<b>SALIDA DE AIRE (%)</b>	<b>TENSION (N)</b>
24.5	437
24.9	440
25.0	443
25.1	456
25.2	457

**Tabla 59 Pruebas Realizadas del Control de Tensión en MODO AUTOMÁTICO**

<b>TENSIÓN DESIGNADA (N)</b>	<b>SALIDA DE AIRE (%)</b>
<b>300</b>	24.3
	24.4
	24.4
	25.0
<b>443</b>	25.1
	25.2

El trabajo óptimo del control de tensión en modo automático se da con un valor designado de tensión de 443 N con el cual la salida da una variación de décimas de porcentaje, lo cual mantiene un estado adecuado del compensador, y no se producen tirones de la fibra en el resto de la línea de producción.

### **5.3.2 TEMPERATURA Y TIEMPO DE EMPALME**

Se hicieron varios ensayos de empalmado con Fibra de Vidrio y Poliéster, respectivamente, a diferentes temperaturas y tiempos de prensado. Los resultados se detallan a continuación.



**Figura 105 Colocación de la Cinta Adhesiva**





**Figura 106 Preparación de las Láminas antes del Prensado**

### 5.3.2.1 FIBRA DE VIDRIO

Se hicieron dos procedimientos, en el primero se puso entre las láminas cinta adhesiva y papel siliconado en el contacto de las láminas con la mesa de empalme y la placa térmica, respectivamente. Los resultados no fueron los esperados, en los extremos las láminas se separaban sin mucho esfuerzo, esto porque la mesa se pandeaba y la placa no hacía contacto en toda el área de trabajo. También el papel siliconado se quemaba.

El segundo procedimiento consistió en poner cinta adhesiva entre las láminas, papel siliconado y un pedazo de fibra de vidrio en el contacto con la placa térmica, la temperatura de la mesa de empalme se asignó a 170 °C y la placa térmica a 200 °C, con lo cual se logró el empalme deseado.

**Tabla 60 Pruebas Realizadas con Fibra de Vidrio**

<b>FIBRA DE VIDRIO</b>				
<b>Procedimiento</b>	<b>Temperatura Mesa de Empalme</b>	<b>Temperatura Placa Térmica</b>	<b>Tiempo de Prensado</b>	<b>Observación</b>
Primero	200°C	200°C	15seg	Incorreto
	200°C	220°C	30seg	Incorreto
	200°C	250°C	30seg	Incorreto
	200°C	250°C	60seg	Incorreto

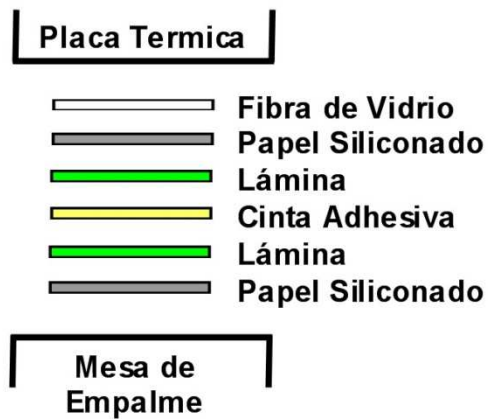
	200°C	300°C	30seg	Incorreto
	200°C	300°C	60seg	Incorreto
	150°C	300°C	60seg	Incorreto
Segundo	150°C	300°C	60seg	Incorreto
	150°C	300°C	30seg	Incorreto
	150°C	250°C	60 seg	Incorreto
	170 °C	200 °C	60 seg	Correcto

### 5.3.2.2 POLIÉSTER

Para el poliéster se hicieron igual dos procedimientos diferentes, en el primero se pegaban las láminas, pero por el calor el poliéster se quemaba incluso con el papel siliconado. En el segundo procedimiento se agregó fibra de vidrio en el contacto de la placa térmica, a 150 °C la cinta adhesiva no se fundía, pero a 200 °C se obtuvo un empalme exitoso.

**Tabla 61 Pruebas Realizadas con Poliéster**

POLIESTER				
Procedimiento	Temperatura Mesa de Empalme	Temperatura Placa Térmica	Tiempo de Prensado	Observación
Primero	200°C	300°C	30seg	Incorrecto
	200°C	300°C	15seg	Incorrecto
	200°C	300°C	10seg	Incorrecto
	150°C	300°C	5seg	Incorrecto
	150°C	300°C	2seg	Incorrecto
Segundo	150°C	150°C	30seg	Incorrecto
	150°C	150°C	60seg	Incorrecto
	170 °C	200 °C	60 seg	Correcto



**Figura 107 Procedimiento de Empalme para Láminas de Fibra de Vidrio y Poliéster**

#### 5.4 VALIDACIÓN DE RESULTADOS

Después de realizar varias pruebas con los operadores de la fábrica se determinó que para el control de tensión se asigne en valor de 443 N para el proceso automático, de igual manera para tener un empalme exitoso de láminas de fibra de vidrio y poliéster se fije la temperatura de 200 °C a la placa térmica y 170 °C a la mesa de empalme. El tiempo de prensado para los dos procesos es de 60 segundos.



**Figura 108 Empalme de Láminas de Poliéster**



**Figura 109 Empalme de Láminas de Fibra de Vidrio**

## **CAPÍTULO 6**

### **6. ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO**

En el presente capítulo se analizan los parámetros que justifican la viabilidad de la implementación del sistema automatizado de empalme de rollos de materia prima, como son: el costo del proyecto en general y los beneficios que obtiene la empresa auspiciante debido al financiamiento del mismo. En este caso la empresa Chova del Ecuador S.A.

#### **6.1 ANÁLISIS FINANCIERO**

Para realizar un correcto análisis financiero del proyecto en cuestión se deben considerar tres aspectos fundamentales que determinarán la inversión total generada por la empresa para cumplir el objetivo planteado, los cuales son:

- Costos de Materiales Directos
- Costo de Mano de Obra Directa
- Costos Indirectos de Producción

Dichos parámetros se analizarán a continuación.

##### **6.1.1 COSTOS DE MATERIALES DIRECTOS**

Se refiere a los costos correspondientes a los materiales y equipos adquiridos para la implementación de la máquina. Dichos costos se los ha segmentado en diferentes grupos de acuerdo a la utilidad que tienen dentro del funcionamiento de la máquina como se describen en la Tabla 62.

**Tabla 62 Costos Totales de los Grupos de Materiales Directos**

DESCRIPCIÓN	COSTO
Sistema de Control de Tensión	36,088.50
Sistema de Prensado	2,560.00
Sistema Térmico	2,781.57
Estructura Metálica	3,574.47
Sistema de Polipasto	4,995.00
<b>TOTAL</b>	<b>49,999.54</b>

A continuación en las Tablas de la 63 a la 66, se detallan todos los grupos de materiales directos, donde constan los precios unitarios y la cantidad utilizada para la construcción del Empalmador.

**Tabla 63 Costos de Materiales para el Sistema de Control de Tensión**

DESCRIPCIÓN	CANT	PRECIO UNITARIO	TOTAL
Eje expandible portabobinas	2	5,286.60	10,573.20
materiales de armadura			
Mandril de seguridad	2	3,606.00	7,212.00
Mandril de seguridad para freno neumático	2	1,501.92	3,003.84
Freno neumático	2	1,920.60	3,841.20
Control de Tensión	1	4,149.00	4,149.00
Celdas de carga	2	1,164.60	2,329.20
Cable de 5 metros con conector para celda de carga	2	165.60	331.20
Transductor de presión, corriente/voltaje, kits aire	2	1,360.80	2,721.60
Rodillo loco balanceado estáticamente	1	1,927.26	1,927.26
		<b>TOTAL</b>	<b>36,088.50</b>

**Tabla 64 Costos de Materiales para el Sistema de Prensado**

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANT</b>	<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>TOTAL</b>
Cilindro doble efecto	2	467.24	934.48
Válvula de AM	2	103.02	206.04
Reguladores de caudal	4	51.02	204.08
Electro-válvula	1	323.28	323.28
Racor recto (QS-1/2-12)	7	7.04	49.28
Silenciador	2	26.94	53.88
Unidad de mantenimiento	1	172.47	172.47
Regulador	1	110.93	110.93
Sensor	4	55.19	220.76
Racor Rápido	7	16.00	112.00
Derivación T	7	15.24	106.68
Inductor D	1	20.93	20.93
Racor Recto	2	2.94	5.88
Manguito Red (QS-12-10)	2	6.37	12.74
Manguito Red (QS-10-8)	2	5.73	11.46
Caja de Ench	1	4.17	4.17
Tubo de Poliuretano (PUN-12X2BLUE)	1	5.30	5.30
Tubo de Poliuretano (PUN-10X1.5BL)	1	3.86	3.86
Tubo de Poliuretano (PUN-10X1.2BIL)	1	1.78	1.78
		<b>TOTAL</b>	<b>2,560.00</b>

**Tabla 65 Costos de Materiales para el Sistema de Polipasto**

DESCRIPCIÓN	CANT	PRECIO UNITARIO	TOTAL
Polipasto eléctrico a cadena con Trolley eléctrico	1	4,570.00	4,570.00
Sistema de Electrificación Transversal tipo Festoon	1	425.00	425.00
		TOTAL	4,995.00

**Tabla 66 Costos de Materiales para el Sistema Térmico**

DESCRIPCIÓN	CANT	PRECIO UNITARIO	TOTAL
Resistencia tipo cartucho	12	96.09	1,153.08
Controlador e indicador de temperatura	2	104.89	209.78
Termocupla tipo J	2	42.36	84.72
Resistencia tipo U	3	267.00	801.00
Placa térmica móvil	1	45.00	45.00
Placa de sujeción	1	260.00	260.00
Maquinado de ranuras	1	280.00	280.00
		DESC.	52.01
		TOTAL	2,781.57



**Tabla 67 Costos de Materiales para la Estructura Metálica**

DESCRIPCIÓN	CANT	PRECIO UNITARIO	TOTAL
Tubo rectangular 100X50X3 mm	3.00	50.70	152.10
Tubo rectangular 150X50X3 mm	5.00	67.70	338.50
Plancha 4X8 12mm (1/2")	0.29	264.40	76.670
Plancha 4X8 3mm (1/8")	0.25	58.49	14.62
SKF FY 30 TF-Soporte	8.00	34.12	272.96
SKF SY 30 TF-Soporte	2.00	34.81	69.62
Rodillos balanceados	5.00	530.00	2,650.00
		TOTAL	3,574.47

### 6.1.2 COSTOS DE MANO DE OBRA DIRECTA

Dentro de éste parámetro se describen los costos correspondientes a los pagos otorgados a las personas que intervinieron directamente en la construcción del proyecto, mediante los diferentes procesos de manufactura.

Dicho personal no mantenía una relación de dependencia con la empresa auspiciante, sino que se trataba de un grupo contratista. Es decir que su remuneración contabilizaba la elaboración completa del proyecto.

**Tabla 68 Costos de Mano de Obra directa**

DESCRIPCIÓN	CANT	PRECIO UNITARIO	TOTAL
Maestro mayor	2.000	250.00	500.00
Soldador	4.000	200.00	800.00
Ayudante	6.000	110.00	660.00
Instalación del sistema de prensado	1.125	40.00	45.00
		TOTAL	2,005.00

### 6.1.3 COSTOS INDIRECTOS DE PRODUCCIÓN

Aquí se analizan los costos que no están directamente relacionados con el producto, lo que no quiere decir que sean menos importantes y por lo tanto influyen de alguna forma en un estudio económico.

#### *Materiales Indirectos*

Dentro de este conjunto se consideran aspectos tales como: energía eléctrica, combustibles, herramientas y repuestos. Elementos que se han dispuesto dentro de los procesos de manufactura de la máquina. Debido a que los costos generados por los elementos descritos no son de interés para este análisis, se puede concluir que dichos costos serán considerados dentro del presupuesto de gastos de operación de la empresa Chova del Ecuador S.A.

#### *Mano de obra indirecta*

Constituye todos los costos generados por el personal que no interviene de manera directa en la fabricación de la máquina, pero que su labor es estrictamente necesaria dentro de todo el proceso de diseño, construcción e implementación como lo es el equipo de Ingeniería conformado por: tesisas, director y codirector de tesis. Así como también el personal de supervisión, guardias, control de calidad, etc.

Los salarios del equipo de ingeniería están definidos de la siguiente manera:

- Director y codirector de tesis, son costos adjudicados a la Institución Educativa (Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE).
- Tesisas, son asumidos por sí mismos.

El costo de los salarios de los tesisas se han calculado en base al tiempo que demoró la construcción del proyecto y tomando como referencia un

suelo básico unificado correspondiente a \$350.00. Por otro lado los salarios de los directores del proyecto se han calculado en referencia al costo de su hora clase y al número de horas de asesoría definidas por la institución las cuales corresponden a 2 horas por semana. En la Tabla 69 se describen los costos correspondientes a los salarios mencionados.

**Tabla 69 Costos de Mano de Obra Indirecta**

DESCRIPCIÓN	CANT	PRECIO UNITARIO	TOTAL
Director	1	925.44	925.44
Codirector	1	792.00	792.00
Tesista	2	2100.00	4200.00
		TOTAL	5,917.44

#### *Gastos indirectos de fabricación*

Son todos los costos generados por aspectos propios de la depreciación de la máquina tales como: mantenimientos, repuestos, etc. Se considera que serán evaluados en el presupuesto anual de la empresa auspiciante.

#### **6.1.4 COSTOS TOTALES DEL PROYECTO**

Después de un análisis interno de la empresa, la misma estableció un presupuesto de \$40,000.00 para la realización del proyecto que describe la presente tesis, el cual ha alcanzado un costo total de \$51,959.55; obtenido de la suma de costos de materiales directos y mano de obra directa. En cuanto a los costos indirectos de producción no se consideran dentro del presupuesto de la máquina por lo motivos explicados anteriormente.

**Tabla 70 Costos Totales del Proyecto**

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>COSTO</b>
Costo de Materiales Directos	49,999.54
Costo de Mano de Obra Directa	2,005.00
Costos de Mano de Obra Indirecta	5,917.44
<b>TOTAL</b>	<b>57,921.98</b>

## 6.2 ANÁLISIS ECONÓMICO

El presente tiene como objetivo analizar si la inversión realizada por la empresa Chova del Ecuador S.A. va acorde a los beneficios que recibirá por implementar el empalmador. Para esto se ha realizado un análisis económico utilizando indicadores financieros que demostrara la factibilidad del proyecto.

### *Inversión*

**Tabla 71 Detalle de la Inversión Realizada**

<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>VALOR</b>
<b>1</b>	Máquina Empalmadora Automática	\$ 57,921.98

### *Beneficio*

Dentro del análisis de los beneficios que la empresa obtendrá se considera la reducción del costo de Mano de Obra Directa debido a que disminuye el tiempo que los operadores destinan al posicionamiento y al empalme de los extremos de los rollos de materia prima.

En la siguiente tabla se detalla el consumo de la materia prima para la elaboración de 13 productos que se verán beneficiados con la implementación del empalmador. Esta tabla considera la producción promedio que se genera por los pedidos de los productos en un mes. Con esto se determinará la cantidad de materia prima a utilizar y consecuentemente el número de cambios de rollos de manera diaria. Esta información a su vez sirve para estimar el tiempo que los operadores destinan a realizar esta función sin el proyecto y determinar el ahorro que la compañía obtendrá al automatizar el mismo.

**Tabla 72 Producción Promedio por Producto**

<b>Item</b>	<b>Producto</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Metros por rollo</b>	<b># Empalmes</b>
1	Asfalum	6,500	1,800	3
2	Alumband 2,5 mm	8,500	1,800	4
3	Alumband 2,0 mm	10,800	1,800	6
4	Techofielt 1500	6,000	1,800	3
5	Techofielt 2000	8,700	1,800	4
6	Techofielt 3000	6,000	1,800	3
7	Super k 2500	6,250	1,800	3
8	Super k 3000	5,200	1,800	2
9	Imperglass 3000	7,100	1,800	3
10	Imperglass 4000	5,700	1,800	3
11	Imperpol 3000	7,100	1,800	3
12	Imperpol 4000	5,700	1,800	3
13	4K	2,200	1,800	1

**Tabla 73 Costos de Mano de Obra Directa del Proceso de Empalme sin Proyecto**

Item	Producto	Producción por mes	Turnos		Tiempo de actividad (hr)	# personas	H.H.	Total MOD
1	Asfalum	2	1	1,25	0,25	4	13,50	68,85
2	Alumband 2,5 mm	2	1	1,25	0,25	4	18,00	91,80
3	Alumband 2,0 mm	2	1	1,25	0,25	4	27,00	137,70
4	Techofielt 1500	0,5	1		0,25	4	1,50	7,65
5	Techofielt 2000	3	1	1,25	0,25	4	27,00	137,70
6	Techofielt 3000	0,25	1		0,25	4	0,75	3,83
7	Super k 2500	3	1	1,25	0,25	4	20,25	103,28
8	Super k 3000	0,5	1		0,25	4	1,00	5,10
9	Imperglas s 3000	3	1	1,25	0,25	4	20,25	103,28
10	Imperglas s 4000	1	1		0,25	4	3,00	15,30
11	Imperpol 3000	4	1	1,25	0,25	4	27,00	137,70
12	Imperpol 4000	1	1		0,25	4	3,00	15,30
13	4K	0,25	1		0,25	4	0,25	1,28

**Tabla 74 Costos de Mano de Obra Directa del Proceso de Empalme con Proyecto**

Item	Producto	Producción por mes	Turnos	Tiempo		# personas	H.H.	Total MOD
				de actividad (hr)				
1	Asfalum	2	1	1,25	0,08	1	1,13	5,74
2	Alumband 2,5 mm	2	1	1,25	0,08	1	1,50	7,65
3	Alumband 2,0 mm	2	1	1,25	0,08	1	2,25	11,48
4	Techofielt 1500	0,5	1		0,08	1	0,13	0,64
5	Techofielt 2000	3	1	1,25	0,08	1	2,25	11,48
6	Techofielt 3000	0,25	1		0,08	1	0,06	0,32
7	Super k 2500	3	1	1,25	0,08	1	1,69	8,61
8	Super k 3000	0,5	1		0,08	1	0,08	0,43
9	Imperglas 3000	3	1	1,25	0,08	1	1,69	8,61
10	Imperglas 4000	1	1		0,08	1	0,25	1,28
11	Imperpol 3000	4	1	1,25	0,08	1	2,25	11,48
12	Imperpol 4000	1	1		0,08	1	0,25	1,28
13	4K	0,25	1		0,08	1	0,02	0,11

### *Análisis de Factibilidad*

Para analizar la factibilidad del proyecto, se utilizará el modelo de análisis de flujo incremental, el cual es el más conveniente para analizar proyectos en empresas en marcha, de tal forma que este permita saber si la inversión a realizar es justificable a partir del diferencial entre el flujo con

proyecto y la situación base. Dado este flujo luego se procederá a analizar la TIR y la VAN para el proyecto. Así se tiene que en función a los siguientes flujos de caja (flujo de caja base y flujo de caja con proyecto) se puede obtener el flujo de caja diferencial.

**Tabla 75 Detalle del Beneficio a Obtener**

Item	Producto	MOD sin proyecto	MOD con proyecto	Ahorro	% ahorro
1	Asfalum	68,85	5,74	63,11	92%
2	Alumband 2,5 mm	91,80	7,65	84,15	92%
3	Alumband 2,0 mm	137,70	11,48	126,23	92%
4	Techofielt 1500	7,65	0,64	7,01	92%
5	Techofielt 2000	137,70	11,48	126,23	92%
6	Techofielt 3000	3,83	0,32	3,51	92%
7	Super k 2500	103,28	8,61	94,67	92%
8	Super k 3000	5,10	0,43	4,68	92%
9	Imperglass 3000	103,28	8,61	94,67	92%
10	Imperglass 4000	15,30	1,28	14,03	92%
11	Imperpol 3000	137,70	11,48	126,23	92%
12	Imperpol 4000	15,30	1,28	14,03	92%
13	4K	1,28	0,11	1,17	92%



Tabla 76 Flujo de Caja Proyectado a 10 años

Mes	Inversión	I	II	III	IV	V
<b>Egresos</b>	<b>(\$ 57.922)</b>	-	-	-	-	-
<b>Ingresos</b>	<b>0</b>	<b>16.316</b>	16.316	16.316	16.316	16.316
<b>Saldo</b>	<b>-57.922</b>	16.316	16.316	16.316	16.316	16.316
<b>Saldo Acumulado</b>	<b>-57.922</b>	-	-	-8.973	7.343	23.659

Mes	Inversión	VI	VII	VIII	IX	X	V. presente
<b>Egresos</b>	<b>(\$ 57.922)</b>	-	-	-	-	-	-51.716
<b>Ingresos</b>	<b>0</b>	16.316	16.316	16.316	16.316	16.316	92.190
<b>Saldo</b>	<b>-57.922</b>	16.316	16.316	16.316	16.316	16.316	34.268
<b>Saldo Acumulado</b>	<b>-57.922</b>	39.976	56.292	72.608	88.924	105.241	-----

### 6.2.1 VALOR ACTUAL NETO

Mediante el VAN se puede determinar la rentabilidad de un proyecto específico analizado en valor absoluto, es decir que expresa la diferencia entre el valor actualizado de las unidades monetarias cobradas y pagadas.

En otras palabras, el VAN nos permite definir el valor de una inversión en el tiempo.

El VAN para este proyecto corresponde a US\$40.186, es decir que el proyecto representa una buena inversión para la institución, satisfaciendo la tasa de descuento, pues su valor es superior a cero.

### 6.2.2 TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)

El criterio de la tasa interna de retorno (TIR) evalúa el proyecto en función de una única tasa de rendimiento por período, con la que los flujos futuros generados por el negocio descontados igualan al monto de la inversión inicial, es decir es la tasa de descuento que hace que el valor actual neto sea cero.

La TIR permite ver la rentabilidad obtenida en proporción directa al capital invertido.

El TIR para este proyecto corresponde al valor positivo de 29%, es decir que la inversión realizada en el sistema de alineación generará ganancias superiores a la rentabilidad esperada y se puede considerar como una oportunidad para reinvertir.

### 6.2.3 FACTOR BENEFICIO – COSTO (B/C)

La razón Beneficio/Costo permite saber cuál es el beneficio a valor presente por cada dólar de inversión.

El valor encontrado para este proyecto corresponde al factor de 1.99. Si el factor es mayor que 1, se puede afirmar que el proyecto justifica su ejecución, obteniendo \$1,99 por cada \$1 invertido.

**Tabla 77 Resultados de los Índices Económicos-Financieros**

INDICADORES	VALOR
V.A.N.	34,268.00
T.I.R.	25%
B/C	1.78
T. Recuperación	3.55
Tasa Descuento	12%

## CAPÍTULO 7

### 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 7.1 CONCLUSIONES

- El sistema de empalme que se realizó conforma la primera etapa del proceso de fabricación de láminas asfálticas, cumple con la función de recibir rollos individuales de fibra de vidrio o poliéster de 1 m de ancho y como resultado de la unión se obtiene proveer a las siguientes celdas la alimentación continua de dicha materia prima.
- La implementación del sistema Automatizado para el empalme de rollos de materia prima hace más eficiente el proceso de fabricación de láminas impermeabilizantes asfálticas: optimizando tiempos de carga de materia prima y empalme propiamente dicho; costos de producción y reduciendo el margen de riesgo laboral al realizar trabajos con temperaturas elevadas y/o cargas excesivas.
- El tiempo total requerido para el empalme manual era de 48 minutos, en los que se hacía un calentamiento previo de 45 minutos de las planchas metálicas y para el prensado se disponía de 3 minutos. Mediante la puesta en marcha del sistema se redujo esta duración al 30% del total requerido anteriormente.
- Se alcanzó un promedio de ahorro del 92% en la mano de obra directa con respecto al proceso manual referencial, lo que permite reducir de manera directa el costo de producción y la inversión se recuperará totalmente en un período menor a 5 años.
- El sustento del requerimiento de la automatización de la etapa de alimentación de bobinas de fibra de vidrio o poliéster obedece a

que los operarios realizaban de manera manual el levantamiento y ubicación de la materia prima que tiene un peso aproximado de 300 kg, que ahora se lo realiza por medio de un sistema de polipasto evitando accidentes laborales por falta de condiciones ergonómicas adecuadas.

- La automatización del proceso de empalme de rollos de materia prima no está relacionado de ninguna manera con un proceso de recorte de personal, al contrario uno de los principales objetivos de la implementación del proyecto en cuestión es el de minorar el riesgo que involucra dicho proceso. En cuanto al personal que actualmente se encarga de ejecutarlo podrán continuar con sus actividades originales.
- El sistema de control implementado consistió en un control proporcional de la velocidad de desbobinado de los rollos de materia prima, tomando como referencia la tensión con la que es jalada la lámina a lo largo de todo el proceso de laminación; con la finalidad de mejorar la calidad del producto final evitando fracturas en las fibras de materia prima lo cual permite a su vez, una correcta impregnación de la mezcla asfáltica utilizada en la fabricación.
- Actualmente en el mercado internacional, principalmente en Italia, existen empresas dedicadas a la fabricación de máquinas empalmadoras para procesos de desbobinado. Como es obvio previo a la realización del presente proyecto, la empresa auspiciante analizó la viabilidad del mismo comparándolo respecto a la adquisición de una fabricada en el exterior, y se pudo concluir que a pesar de que la implementación local no consideraría parámetros tan sofisticados de automatización se atendería a requerimientos específicos que influirían directamente en la calidad del producto final así como también aspectos fundamentales de seguridad industrial, haciendo del proyecto

viable en aspectos económico-financieros y una gran contribución a nivel educativo y social.

- Los resultados obtenidos de los índices económico-financieros sin duda afirman la viabilidad y rentabilidad de la ejecución del proyecto, tomando en cuenta la interpretación que los expertos definen para dichos índices la inversión producirá ganancias por encima de la rentabilidad exigida puesto que el VAN obtuvo un resultado mayor a cero "0". La rentabilidad del proyecto se considera beneficiosa ya que se encuentra un 100% por encima de la tasa de descuento fijada por la empresa Chova del Ecuador S.A.

## **7.2 RECOMENDACIONES**

- Para la adquisición de resistencias eléctricas de tipo U, como las que se utilizaron en la mesa de empalme se debe tomar en cuenta que la longitud de las mismas debe exceder el ancho de la lámina aproximadamente en un 20% con el fin de dar un mejor empalme en los extremos.
- Se debe realizar campañas de socialización dirigida a los operadores para el correcto uso de los equipos que conforman la nueva planta de Chova del Ecuador.
- El mantenimiento preventivo periódico se lo sugiere realizar con una frecuencia de 6 meses para revisión de elementos cuyo desgaste o imperfección supongan imperfectos en el funcionamiento, como lo son los anillos de seguridad, rodamiento y su recubrimiento, las resistencias eléctricas y control de parámetros normales del sistema neumático. (Ver ANEXO C – MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO).

## BIBLIOGRAFÍA

- Hopcus, K. (s.f.). *Sizing web guide actuators*. Obtenido de FIFE:  
[http://www.maxcessu.com/files/Fife\\_Actuator\\_Sizing.pdf](http://www.maxcessu.com/files/Fife_Actuator_Sizing.pdf)
- Budynas, R., & Nisbett, K. (2012). *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*.  
 México: McGraw-Hill.
- Hopcus, K. (s.f.). *Understanding web guide accuracy*. Obtenido de FIFE:  
[http://www.maxcessu.com/files/Fife\\_Accuracy.pdf](http://www.maxcessu.com/files/Fife_Accuracy.pdf)
- Hosch, M. A. (10 de Marzo de 2013). *Belt Conveyor Tracking: V- Guided vs  
 Crowned Roll*. Obtenido de Dorner:  
<http://blog.dornerconveyors.com/belt-conveyors/belt-conveyor-tracking-v-guided-vs-crowned-roller/>
- Maxcess (Dirección). (2011). *What type of web guide do you need* [Película].
- MaxcessWebex. (s.f.). *Live Shaft Idler Rolls*. Obtenido de MaxcessWebex:  
[http://www.webexinc.com/products/idler\\_rolls](http://www.webexinc.com/products/idler_rolls)
- Plumb, J. (s.f.). *Finding the right sensor*. Obtenido de FIFE:  
[http://www.maxcessu.com/files/Fife\\_Sensor\\_Selection.pdf](http://www.maxcessu.com/files/Fife_Sensor_Selection.pdf)
- QuimiNet. (16 de Octubre de 2009). *Qué es un material no tejido o non-woven*. Obtenido de QuimiNet: <http://www.quiminet.com/articulos/que-es-un-material-no-tejido-o-non-woven-37222.htm>
- Roisum, D. R. (s.f.). *Concave rollers pros and cons*. Obtenido de PFFC:  
<http://pffc-online.com/mag/3510-concave-rollers-pros-cons-0705>
- Roisum, D. R. (18 de Febrero de 2014). *Dead or Live Shaft Rollers*. Obtenido de  
 de [www.convertingquarterly.com](http://www.convertingquarterly.com) ConvertingQuarterly:

<http://www.convertingquarterly.com/blogs/web-handling-and-converting/id/6319/dead-or-live-shaft-rollers.aspx>

Roisum, D. R. (s.f.). *Guide Accuracy and Response in Roll Winding Systems*. Obtenido de Faustel Inc.: <http://www.faustel.com/web-guide-winding-systems/>

Roisum, D. R. (s.f.). *Web Guiding Systems*. Obtenido de Faustel: <http://www.faustel.com/technical-library/web-guiding/>

Shanthi, D. R. (11 de Marzo de 2013). *Nonwovens for Home Textiles*. Obtenido de NonWovensIndustry: [http://www.nonwovens-industry.com/issues/2013-03/view\\_features/nonwovens-for-home-textiles/](http://www.nonwovens-industry.com/issues/2013-03/view_features/nonwovens-for-home-textiles/)

Smith, D. (2010). *Challenges of Web Handling and Winding*. Obtenido de TAPPI: <http://www.tappi.org/content/events/10EXTRU/papers/2.4a.pdf>

Smith, D., Foederer, B., Frey, K., & Lush, J. (2011). *Guideline for web conveyance and winding tension levels*. Obtenido de TAPPI, TIP 0200-01.

Ultramotion. (s.f.). *The Digit*. Obtenido de Ultramotion: <http://www.ultramotion.com/products/digit.php>

Umamaheswari, S. (Diciembre de 2010). *An optimal controller design using different methods for web guide control of cold rolling mill*. Obtenido de Anna University: [http://shodhganga.inflibnet.ac.in/bitstream/10603/9827/1/01\\_title.pdf](http://shodhganga.inflibnet.ac.in/bitstream/10603/9827/1/01_title.pdf)

Walker, T. J. (01 de Septiembre de 2007). *SupportyourRollers*. Obtenido de PFFC: <http://www.pffc-online.com/web-lines/5501-paper-support-rollers>

Walker, T. J. (01 de Abril de 2008). *Your Guide to the Righth Web Guide*. Obtenido de PFFC: <http://www.pffc-online.com/web-lines/6096-guide-right-web-0401>

Walker, T. J. (28 de Abril de 2008). *Tensioning Webs : Introduction to Tensioning*. Obtenido de Web Handling: <http://www.webhandling.com/TensionIntro>

Walker, T. J. (01 de Marzo de 2009). *The Great SpanLength*. Obtenido de PFFC: <http://www.pffc-online.com/web-lines/6961-paper-span-length-0309>

Walker, T. J. (01 de Marzo de 2010). *Web Lines: Your Guide to Web Guiding 1*. Obtenido de PFFC: <http://www.pffc-online.com/web-lines/8084-paper-guide-web-guiding>

Walker, T. J. (01 de Abril de 2010). *Web Guiding: Lateral Motion Causes*. Obtenido de PFFC: <http://pffc-online.com/web-handling/web-guiding/8177-0401-centerline-tracking-impacted>

Walker, T. J. (01 de Mayo de 2010). *Force is needed to shift a web*. Obtenido de PFFC: <http://www.pffc-online.com/web-lines/8313-0501-good-webroller-traction>

Walker, T. J. (01 de Junio de 2010). *Web Lines: Do You Need an Auto Web Guide*. Obtenido de PFFC: <http://pffc-online.com/web-handling/web-guiding/8398-0601-automatic-web-guide-reasons>



# ANEXOS

**ANEXO A**  
**PLANOS DE CONSTRUCCIÓN Y**  
**ENSAMBLE**

**ANEXO B**

**PLANOS DE CONTROL Y POTENCIA**

**ANEXO C**  
**MANUAL DE OPERACIÓN Y**  
**MANTENIMIENTO**