ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PRENSA CALEFACTORA PARA LA UNIÓN DE BANDAS PLANAS SINTÉTICAS MEDIANTE RESISTENCIAS PLANAS

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

ISRAEL ALEJANDRO POZO ESPÍN

casiopeamh@yahoo.com

PABLO RODRIGO ZURITA BAQUERO

pablo_z29@hotmail.com

DIRECTOR: Ing. MARIO GRANJA.

mario.granja@epn.edu.ec

Quito, Septiembre 2011

DECLARACIÓN

Nosotros, Israel Alejandro Pozo Espín y Pablo Rodrigo Zurita Baquero, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado en ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos los derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

_____ _____

Israel Alejandro Pozo Espín **Pablo Rodrigo Zurita Baquero**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado en su totalidad por los señores Israel Alejandro Pozo Espín y Pablo Rodrigo Zurita Baquero, bajo mi supervisión.

_____

Mario Granja, Msc.

DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

A mi familia por todo el apoyo brindado a lo largo de mi vida y por haber depositado en mí su confianza y sus anhelos.

A mi novia Liliana quien siempre supo darme ánimos para seguir adelante.

A mis amigos por su apoyo incondicional.

A mi Director de Tesis Ing. Mario Granja por su acertada dirección.

Al Ing. Roberto Bahamonde por la ayuda brindada durante el desarrollo de este proyecto.

Israel Alejandro Pozo Espín

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, Antonio y Carmen, por demostrarme el valor del trabajo duro, por su apoyo, comprensión y paciencia.

A mi familia, la cual estuvo a mi lado en todo momento.

A mi novia Diana por su incondicional apoyo y cariño.

A mis amigos por compartir conmigo los buenos momentos y por su apoyo en los malos.

A mi Director de Tesis Ing. Mario Granja por su acertada dirección.

Pablo Rodrigo Zurita Baquero

DEDICATORIA

El presente proyecto se lo dedico a todas aquellas personas que depositaron su confianza en mí, en especial:

A mi papá Carlos Pozo, gracias por todas tus enseñanzas.

A mi madre Silvia Espín, gracias por todo tu cariño, apoyo y comprensión.

A mi hermano David Pozo, gracias por tu ayuda incondicional.

A mi novia Liliana Topón, gracias por esas palabras de aliento.

Finalmente, A mi abuelito Julio Espín y su ejemplo de vida, que en paz descanse.

Israel Alejandro Pozo Espín

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado a mis padres, Antonio y Carmen, a mis hermanos, Antonio y Margarita, a mi novia Diana, a mis amigos Pablo, Diego C, Israel, Diego N, que sin su incondicional apoyo no habría logrado alcanzar este objetivo.

Pablo Rodrigo Zurita Baquero

CONTENIDO

CONTENIDO DE TABLAS vii

CONTENIDO DE FIGURAS..... viii

RESUMEN xi

PRESENTACIÓN..... xii

CAPÍTULO 1..... 1

FUNDAMENTOS TEÓRICOS..... 1

1.1 Bandas Planas Sintéticas 1

1.1.1 Transmisión de banda planas 1

1.1.2 Cálculo de tensiones de la polea. 4

1.1.3 Cálculo de la fuerza centrífuga de la polea. 5

1.1.4 Cálculo del torque de la polea 5

1.1.5 Tensión inicial o fuerza inicial 6

1.1.6 Cálculo del la potencia transmitida de la polea 6

1.2 Productos mayormente utilizados en nuestro medio 7

1.2.1 Bandas Transportadoras 7

1.2.1.1 Bandas de PVC 8

1.2.1.2 Bandas de poliuretano 9

1.2.2 Correas de transmisión de potencia 10

1.2.2.1 Correas tipo LT 11

1.2.2.2 Correas tipo LL 11

1.2.2.3 Correas con recubrimiento de goma DG 12

1.2.2.5 Distribución de bandas y correas 13

1.3 Procedimientos de empalmes sin fin de bandas planas 13

1.3.1 Empalme en frío 14

1.3.2 Empalme mecánico 14
1.3.2.1 Tipos de empalme mecánicos 15
1.3.2.1.1 Empalme mecánico Estándar 15
1.3.2.1.2 Unión Termoplástica Suave 16
1.3.2.1.3 Empalme en Espiral 16
1.3.2.1.4 Empalme con Grapas Cubiertas 17
1.3.2.1.5 Empalme Traslapado 18
1.3.2.1.6 Empalme con Hueco 18
1.3.2.1.7 Empalme con Grapas tipo Remache de Plástico 19
1.3.3 Empalme en caliente 19
1.3.3.1 Tipos de empalme 20
1.3.3.1.1 Unión en micro Z 20
1.3.3.1.2 Unión en Z simple 20
1.3.3.1.3 Unión en Z escalonada o doble Z 21
1.3.3.1.4 Unión escalonada 22
1.3.3.1.5 Unión biselada 22
1.3.3.2 Equipos para empalme en caliente 23
1.3.3.2.1 Troqueladora 23
1.3.3.2.2 Cortadora 24
1.3.3.2.3 Separadora de capas. 24
1.3.3.2.4 Biseladoras 25
1.3.3.2.5 Prensa Calefactora 25
1.3.3.3 Resinas y adhesivos 26
1.3.3.4 Proceso de empalme en caliente 26
1.4 Resistencias eléctricas calefactoras 28
1.4.1 Resistencia eléctrica 28

1.4.2 Ley de Ohm 29
1.4.3 Resistividad 29
1.4.4 Relación entre la resistencia eléctrica y la temperatura..... 31
1.4.5 Resistencias eléctricas calefactoras industriales 31
1.4.5.1 Resistencias tipo cartucho tubulares 32
1.4.5.2 Resistencia tipo banda o abrazadera 32
1.4.5.3 Resistencias tipo cartucho de baja y alta concentración 33
1.4.5.4 Resistencias de inmersión..... 34
1.4.5.5 Resistencias planas..... 35
1.5 Dispositivos de control de temperatura..... 35
1.5.1 Sensores de temperatura 36
1.5.1.1 Termómetros de líquido..... 36
1.5.1.1.1 Termómetros de mercurio 37
1.5.1.1.2 Termómetros de alcohol coloreado..... 37
1.5.1.2 Termómetros de gas 38
1.5.1.3 Termómetros de resistencia de platino..... 38
1.5.1.4 Termistores..... 39
1.5.1.5 Termocuplas..... 40
1.5.1.6 Termo-resistencias (RTD) 41
1.5.2 Controladores de temperatura..... 42
1.5.2.1 Controladores análogos 42
1.5.2.2 Controladores digitales..... 45
1.6 Transferencia de calor por conducción en paredes planas..... 47
1.6.1 Conducción..... 47
1.6.1.1 Conductividad térmica..... 47
1.6.2 Resistencia térmica 49

1.7 Transferencia de calor por convección 49
1.7.1 Convección 49
1.7.2 Cálculo del coeficiente de transferencia de calor por convección 50
1.7.3 Convección Libre 50
1.7.3.1 Correlaciones Empíricas: Flujos Externos de Convección Libre 51
1.7.3.2 Placa Vertical 52
1.7.3.3 Placa Horizontal 53
1.7.4 Convección de flujo externo normal a un cilindro de sección no circular .. 54
1.8 Transferencia de calor por radiación 56
1.9 Transferencia de calor en estado transitorio: Método de la Resistencia Interna Despreciable 57
1.10 Diseño de elementos mecánicos sometidos a esfuerzos de tracción, compresión y flexión 59
1.10.1 Esfuerzos principales 59
1.10.2 Circulo de Mohr. 60
1.10.3 Teorías de falla para materiales dúctiles sometidos a cargas estáticas . 61
1.10.3.1 Teoría de la energía de distorsión 62
1.10.4 Diagramas de Fuerza Cortante y Momento Flector 64
1.10.4.1 Fuerza Cortante 64
1.10.4.2 Momento Flector (M) 65
1.10.4.3 Relaciones entre la carga, fuerza cortante y momento flector 66
1.10.5 Análisis de una viga sometida a flexión 67

CAPÍTULO 2 71
DISEÑO DE LA PRENSA 71
2.1 Análisis del Sistema Térmico 71
2.1.1 Etapa de Calentamiento 71

2.1.2 Etapa de Enfriamiento 78
2.2 Análisis del Sistema Estructural 82
2.2.1 Análisis de la placa calefactora superior sometida a flexión. 82
2.2.2 Análisis de la placa calefactora inferior sometida a flexión 87
2.3 Análisis del Sistema de Control 90
2.3.3 Sensor de Temperatura – Termocupla Tipo “K” 93
2.3.4 Controlador de Temperatura JLD-612 94
2.3.4.1 Características Principales del Controlador 95
2.3.4.2 Especificaciones 95

CAPÍTULO 3 96
ELABORACIÓN DE PLANOS Y CONSTRUCCIÓN DE LA PRENSA 96
3.1 Generalidades 96
3.2 Elaboración de Planos 96
3.3 Construcción y Ensamblaje de la Prensa 96
3.3.1 Sistema Estructural 97
3.3.1.1 Diagrama de Flujo de construcción 102
3.3.2 Sistema Térmico 106
3.3.3 Sistema de control 108

CAPÍTULO 4 113
PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y ANALISIS DE COSTOS 113
4.1 Pruebas de Funcionamiento 113
4.1.1 Parámetros de Funcionamiento 113
4.1.2 Resultados obtenidos 115
4.1.3 Análisis de Resultados 118

4.1.4 Estandarización de proceso..... 119
4.2 Análisis de costos 128
4.2.1 Costos de materiales 128
4.2.2 Costos de mano de obra..... 129
4.2.3 Costos de diseño 130
4.2.4 Costos de situaciones imprevistas..... 130
4.2.5 Costo Total 130

CAPÍTULO 5 131
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 131
5.1 Conclusiones 131
5.2 Recomendaciones 132

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 134

ANEXO A 137
ANEXO B 139
ANEXO C 141
ANEXO D 143
ANEXO E 154

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 1.1: Tabla de resistividades de algunos materiales……30
Tabla 1.2: Constantes de la Ec.1.7-11 para cilindros no circulares en flujo cruzado……..55
Tabla 2.1: Propiedades Físicas de las Placas Calefactoras……72
Tabla 3.1: Lista de herramientas……...97
Tabla 3.2: Lista Máquinas Herramientas ……97
Tabla 3.3: Lista Equipos……98
Tabla 3.4: Lista de instrumentos de medición……98
Tabla 3.5: Operaciones requeridas para la fabricación de las partes ……98
Tabla 3.6: Listado de materia prima……99
Tabla 3.7: Listado de elementos a construir……..100
Tabla 3.8: Simbología utilizada en el diagrama de flujo……...102
Tabla 3.9: Listado de elementos que constituyen el sistema térmico……107
Tabla 3.10: Listado de elementos que constituyen el sistema de control……108
Tabla 4.1: Parámetros del proceso de pegado……..113
Tabla 4.2: a) Resultados obtenidos de temperatura Vs tiempo en la etapa de calentamiento, b) Resultados obtenidos de temperatura Vs tiempo en la etapa de enfriamiento……116
Tabla 4.3: Hoja de Trabajo Estandarizado – Procedimiento de Preparación de la Bandas Planas……...120
Tabla 4.4: Hoja de Trabajo Estandarizado – Procedimiento de Pegado de Bandas Planas……..123
Tabla 4.5: a) Detalle de costos materiales manufacturados b) Detalle de costos de elementos normalizados……..128
Tabla 4.6: Costos de mano de obra……129
Tabla 4.7: Costo Total de la Prensa……...130

CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 1.1: Longitudes y ángulos de contacto de bandas en disposición normal……2
Figura 1.2: Longitudes y ángulos de contacto de bandas en disposición cruzada…3
Figura 1.3: Estructura de una banda de transporte……..8
Figura 1.4: Bandas Tipo PVC……...9
Figura 1.5: Bandas de Poliuretano……...10
Figura 1.6:Correa de Transmisión tipo LT……11
Figura 1.7: Correa de Transmisión tipo LL……...12
Figura 1.8: Bandas de Goma……..12
Figura 1.9: Transporte y Almacenamiento de las Bandas……....13
Figura 1.10: Tipos de Empalmadores: a) Grapa tipo HS, b) Grapa de apriete tipo CS, c) Grapa de material sintético……15
Figura 1.11: Empalme con Grapas tipo bisagra y clipper……...15
Figura 1.12: Unión Termoplástica……16
Figura 1.13: Empalme en Espiral……..16
Figura 1.14: Empalme con Grapas Ocultas……17
Figura 1.15: Empalme Traslapado……..…..18
Figura 1.16: Empalme con Hueco……18
Figura 1.17: Empalme con Grapas de plástico……19
Figura 1.18: Empalme micro Z……20
Figura 1.19: Empalme en Z simple……21
Figura 1.20: Empalme de doble Z……..21
Figura 1.21: Empalme Escalonado……...22
Figura 1.22: Empalme con Bisel……...22
Figura 1.23: a) Troqueladora de accionamiento manual, b) Troqueladora de accionamiento hidráulico……...23
Figura 1.24: Cortadora longitudinal de bandas……..24
Figura 1.25: Máquina separadora de capas……...24
Figura 1.26: Biseladora……...25
Figura 1.27: Esquema de la prensa calefactora……25
Figura 1.28: Identificación de zonas para empalme en bisel……..…26

Figura 1.29: A.-Electrones fluyendo por un buen conductor eléctrico que ofrece baja resistencia. B.- Electrones fluyendo por un mal conductor eléctrico, que ofrece alta resistencia a su paso……28
Figura 1.30: Elementos que intervienen en la resistencia de un material……..30
Figura 1.31: Resistencia Tubular……...32
Figura 1.32: Resistencias Tipo banda o abrazadera……..33
Figura 1.33: Resistencia Tipo cartucho de concentración…….. .34
Figura 1.34: Resistencia de Inmersión……34
Figura 1.35: Resistencia Plana……..35
Figura 1.36: Esquema de un Sistema de Control de Temperatura……..36
Figura 1.37: Termómetro de Mercurio……...37
Figura 1.38: Termómetro de Alcohol……37
Figura 1.39: Termómetro de Gas……...38
Figura 1.40: Termómetros de Resistencia de Platino……39
Figura 1.41: Termistores……..39
Figura 1.42: Termocuplas……...40
Figura 1.43: Termo Resistencias RTD's……41
Figura 1.44: Diagrama de Funcionamiento del Control Proporcional…….....43
Figura 1.45: Diagrama de Funcionamiento de Control ON/OFF…… 44
Figura 1.46: Controlador Análogo de Temperatura COMIND NY300……44
Figura 1.47: Controlador digital de Temperatura……45
Figura 1.48: Control de Temperatura Proporcional – Derivativo……..46
Figura 1.49: Control de Temperatura PID……46
Figura 1.50: Transferencia de Calor por Conducción……47
Figura 1.51: Transferencia Unidimensional de Calor por Conducción……..48
Figura 1.53: Elemento general sometido a esfuerzos triaxiales…….. 59
Figura 1.54: Elemento general sometido a esfuerzos biaxiales……60
Figura 1.55: Representación del Círculo de Mohr……...60
Figura 1.56: Comparación de las tres teorías de falla estática para materiales dúctiles y esfuerzos biaxiales……62
Figura 1.57: Diagrama de falla según la teoría de energía de distorsión……63
Figura 1.58: Esquema de la teoría de distorsión para análisis del factor de seguridad……63

Figura 1.59: Elemento sometido a una fuerza cortante……..…65
Figura 1.60: Convenio de signos para momento flector y fuerza cortante…….……65
Figura 1.61: Relaciones entre la carga, fuerza cortante y momento flector……66
Figura 1.62: Esquema de una viga sometida a flexión……67
Figura 1.63: a) Dimensiones de la placa, b) Diagrama de la placa calefactora superior y las fuerzas que actúan sobre ella……68
Figura 1.64: DCL de placa calefactora superior de Espesor “h”, Largo “a” y Ancho “b”……68
Figura 1.65: Diagrama de Fuerza Cortante y Momento Flector de la placa……...69
Figura 2.1: Niquelina Plana……....71
Figura 2.2: Esquema Térmico de la Placa Calefactora……..72
Figura 2.3: Esquema de la Placa Calefactora tratada como viga……82
Figura 2.4: a) Diagrama de Fuerza Cortante, b) Diagrama de Momento Flector…..85
Figura 2.5: a) Diagrama de Fuerza Cortante, b) Diagrama de Momento Flector…..88
Figura 2.6: Panel trasero del Controlador……91
Figura 2.7: a) Activación de alarma de límite superior, b) Activación de alarma de límite inferior……..92
Figura 2.8: Termocupla Tipo “K” de 1m de longitud con sonda roscada……93
Figura 2.9: Controlador de Temperatura……..94
Figura 3.1: Diagrama de flujo de Construcción de la Parte inferior de la prensa...103
Figura 3.2: Gráfico de la parte inferior de la prensa……104
Figura 3.3: Diagrama de flujo de Construcción de la Parte Superior de la Prensa……..105
Figura 3.4: Gráfico de la parte superior de la prensa ……....106
Figura 3.5: Diagrama de flujo de ensamblaje del sistema térmico.....……..107
Figura 3.6: Gráfico del sistema de control de la prensa……...111
Figura 3.7: Diagrama de Flujo del ensamblaje de la Prensa……..111
Figura 3.8: Gráfico de la prensa calefactora……..112
Figura 4.1: Empalme de las bandas para iniciar proceso de pegado……...114
Figura 4.2: Proceso de pegado……114
Figura 4.3: Proceso de pegado terminado……115
Figura 4.4: a) Gráfica de la Temperatura Vs Tiempo en la etapa de calentamiento,
b) Gráfica de la Temperatura Vs Tiempo en la etapa de enfriamiento……117

RESUMEN

El presente proyecto tiene por objetivo diseñar y construir una prensa calefactora con costos competitivos de fabricación y suministro, la cual permitirá realizar el proceso de pegado de bandas planas sintéticas de transmisión de potencia.

Para la realización de este proyecto es necesario conocer los fundamentos teóricos acerca del proceso de fabricación de bandas para poder determinar los parámetros requeridos para ejecutar el pegado de las mismas.

La prensa calefactora consta de varios subsistemas, así: estructural, térmico y de control, los cuales deben ser analizados tanto individualmente como en conjunto, con el fin de evaluar la eficacia y la eficiencia de todo el equipo.

Uno de los principales subsistemas, y a su vez el más complejo, es el térmico el cual requiere de un proceso de análisis más minucioso con el fin de poder homologarlo a un modelo matemático que refleje su comportamiento.

Para el diseño y dimensionamiento de los elementos constitutivos del equipo, se ha de tomar en cuenta parámetros como: costo, facilidad de adquisición en el mercado nacional, procesos de fabricación, y facilidad de ensamblaje.

Para realizar el proceso de pegado con mayor eficiencia se ha incorporado un sistema de control semiautomático, el cual facilitará el trabajo del operador al no tener que supervisar el proceso de forma continua, debido a que solamente debe establecer los parámetros de pegado al inicio del proceso.

PRESENTACIÓN

El presente proyecto se ha dividido en 5 capítulos, que describen de manera secuencial los pasos para la consecución de los objetivos del proyecto siendo estos los siguientes:

El capítulo 1 trata los principales conceptos acerca de algunos tipos de bandas existentes en el mercado, y además, brinda una introducción de los procesos de unión de bandas así como también de los diferentes equipos necesarios para realizarlo. Este capítulo también expone ciertos conceptos básicos necesarios para el diseño mecánico, térmico y de control de este equipo.

El capítulo 2 se enfoca al diseño de los diferentes subsistemas que componen la prensa calefactora como son: estructural, térmico y de control.

En el capítulo 3 se detalla los planos de construcción, así como también la secuencia lógica para los procesos de fabricación y ensamble del equipo.

En el capítulo 4 se presenta la evaluación de los costos que implica el diseño y fabricación de la prensa calefactora, además, en este capítulo se expone la secuencia de trabajo estandarizado requerido para el uso del equipo.

En el capítulo 5 se indican las conclusiones y recomendaciones del proyecto realizado, basándose especialmente en las dificultades encontradas durante el desarrollo del mismo, además, se sugiere algunas ideas para la correcta manipulación del equipo tomando en cuenta experiencias obtenidas durante las pruebas de trabajo realizadas.

CAPÍTULO 1

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1.1 Bandas Planas Sintéticas

1.1.1 Transmisión de banda planas [1]

Las bandas se utilizan para transmitir potencia entre dos ejes paralelos. Tales ejes deben estar situados a cierta distancia mínima, dependiendo del tipo de banda, para trabajar con la mayor eficiencia. Las bandas tienen las siguientes características:

- Pueden utilizarse para grandes distancias entre centros.

- Debido a los efectos de deslizamiento y estiramiento que se producen entre las bandas, la relación entre las velocidades angulares de los ejes no es constante ni exactamente igual a la relación entre los diámetros de las poleas.

- Generalmente es necesario algún tipo de ajuste de la distancia entre centros cuando se utilizan bandas.

Las correas planas son muy eficaces para altas velocidades pues resultan silenciosas, pueden transmitir altas potencias para distancias entre ejes relativamente grandes, no requieren poleas de diámetro excesivo y pueden transmitir fuerza motriz al otro lado de una esquina o entre ejes perpendiculares entre sí. Son particularmente útiles en instalaciones mecánicas.

[1] SHIGLEY, J. "*Manual de Diseño Mecánico"*, Editorial McGraw-Hill, Cuarta Ed. Pág.798

Las longitudes y ángulos de contacto de banda en disposición normal se muestran en la Figura 1.1

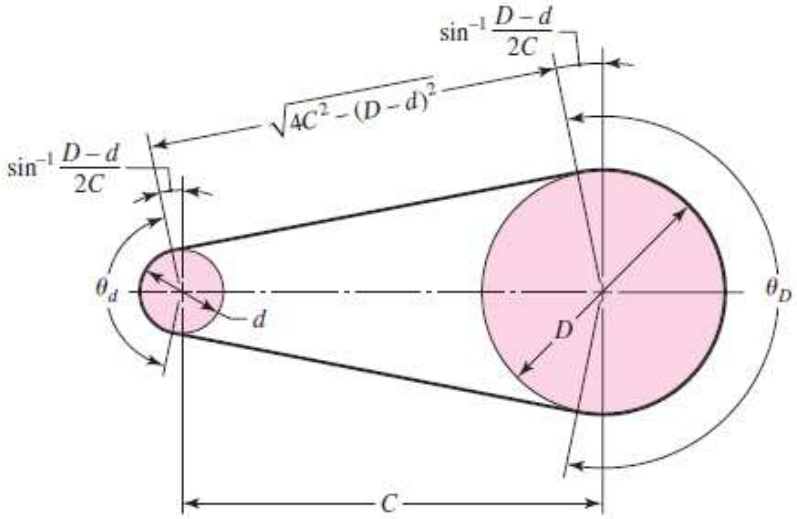


Figura. 1.1. Longitudes y ángulos de contacto de bandas en disposición normal.[2]

$$\theta_d = \pi - 2sin^{-1}\ \frac{D-d}{2C}$$

(Ec. 1.1-1)

$$\theta_D = \pi + 2sin^{-1}\ \frac{D-d}{2C}$$

(Ec. 1.1-2)

$$L = \sqrt{4C^2-(D-d)^2} + \frac{1}{2}(D*\theta_D\ + d*\theta_d)$$

(Ec. 1.1-3)

Donde:

D Diámetro de polea grande.

d Diámetro polea pequeña.

C Distancia entre centros.

θ_d Ángulo de contacto de la polea pequeña.

θ_D Ángulo de contacto de la polea grande.

L Longitud de la banda

[2] SHIGLEY, J. "*Manual de Diseño Mecánico"*, Editorial McGraw-Hill, Octava Ed. Pág.861.

Las longitudes y ángulos de contacto de banda en disposición cruzada se muestran en la Figura 1.2

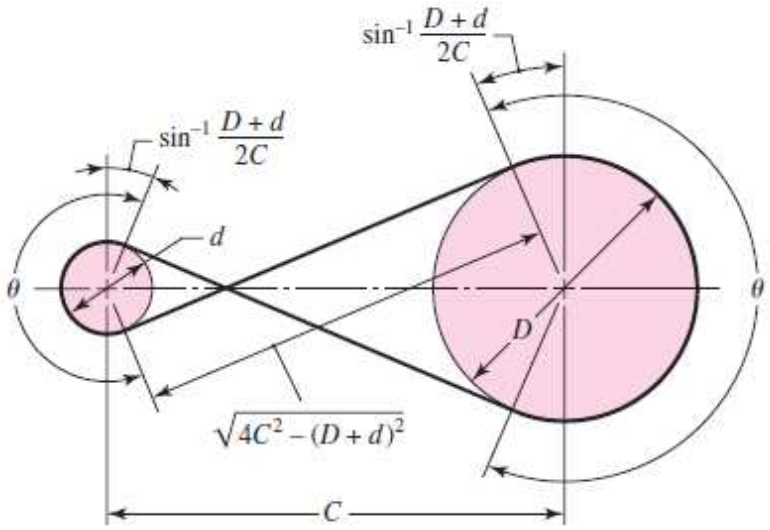


Figura. 1.2. Longitudes y ángulos de contacto de bandas en disposición cruzada.[3]

$$\theta = \pi + 2sin^{-1}\frac{D+d}{2C}$$

(Ec. 1.1-4)

$$L = \sqrt{4C^2 - (D+d)^2} + \frac{1}{2}(D+d) * \theta$$

(Ec. 1.1-5)

Donde:

D Diámetro de polea grande.
d Diámetro polea pequeña.
C Distancia entre centros.
θ Ángulo de contacto.
L Longitud de la banda

La acción en la polea impulsora, en la porción del ángulo de contacto que transmite potencia es tal que la banda se mueve con una velocidad menor que la velocidad en la superficie de la polea debido a la distención elástica. El ángulo de contacto está

[3] SHIGLEY, J. "*Manual de Diseño Mecánico",* Editorial McGraw-Hill, Octava Ed. Pág.861.

integrado por el arco efectivo, según el cual se transmite la potencia, y por el arco inactivo.

En el caso de la polea impulsora, la banda hace contacto primero en la polea con la tensión en el lado tirante F_1 y la velocidad V_1 igual a la velocidad en la superficie de la polea. La correa pasa luego sobre el arco inactivo sin cambio en F_1 o en V_1. Luego comienza el contacto con distensión elástica o deslizamiento, y la tensión de la correa cambia de acuerdo con las fuerzas de fricción. Al final del arco efectivo la banda sale de la polea con la tensión en el lado flojo F_2 y una velocidad menor V_2.

1.1.2 Cálculo de tensiones de la polea.[4]

La relación entre la tensión en el lado tirante F_1 y la tensión en el lado flojo F_2 es:

$$\frac{F_1}{F_2} = e^{f\theta}$$

(Ec. 1.1-6)

Donde:

f Coeficiente de fricción.
F_1 Tensión en el lado tirante.
F_2 Tensión en el lado flojo.
θ Ángulo de contacto.

[4] SHIGLEY, J. "*Manual de Diseño Mecánico*", Editorial McGraw-Hill, Cuarta Ed. Pág.802

1.1.3 Cálculo de la fuerza centrífuga de la polea[5].

La fuerza centrífuga se expresa como:

$$F_c = m * V^2$$

(Ec. 1.1-7)

Donde:

F_c Fuerza centrífuga

m masa por unidad de longitud de la banda

V velocidad

1.1.4 Cálculo del torque de la polea[6]

La diferencia entre F1 y F2 se relaciona con el torque de la polea, tal como se indica en la ecuación:

$$(\mathrm{F_1} - \mathrm{F_2}) = \frac{2\mathrm{T}}{\mathrm{D}}$$

(Ec. 1.1-8)

Donde

T Torque

F_1 Tensión en el lado tirante

F_2 Tensión en el lado flojo

[5] SHIGLEY, J. "*Manual de Diseño Mecánico*", Editorial McGraw-Hill, Cuarta Ed. Pág.802
[6] SHIGLEY, J. "*Manual de Diseño Mecánico*", Editorial McGraw-Hill, Octava Ed. Pág.865

1.1.5 Tensión inicial o fuerza inicial[7]

Cuando se instala una banda se introduce una tensión inicial F_i en dicho elemento. La fuerza inicial se expresa como se expresa como:

$$F_i = \frac{(\mathrm{F}_1 - \mathrm{F}_2)}{2} - F_c$$

(Ec. 1.1-9)

Donde

F_i Tensión inicial
F_c Fuerza centrífuga
F_1 Tensión en el lado tirante
F_2 Tensión en el lado flojo

1.1.6 Cálculo del la potencia transmitida de la polea[8]

La potencia transmitida en el Sistema Internacional se expresa como:

$$P = (\mathrm{F}_1 - \mathrm{F}_2) * \mathrm{V}$$

(Ec. 1.1-10)

Donde:

P	Potencia transmitida	[W]
F_1	Tensión en el lado tirante	[N]
F_2	Tensión en el lado flojo	[N]
V	Velocidad de la banda.	[m/s]

[7] IDEM
[8] SHIGLEY, J. "*Manual de Diseño Mecánico*", Editorial McGraw-Hill, Cuarta Ed. Pág.802

La potencia transmitida en el Sistema Ingles se expresa como:

$$H = \left(\frac{F_1 - F_2}{33000}\right) * V \qquad \text{(Ec. 1.1-11)}$$

Donde:

H Potencia transmitida [Hp]
F_1 Tensión en el lado tirante [lb]
F_2 Tensión en el lado flojo [lb]
V Velocidad de la banda. [Pie/min]

1.2 Productos mayormente utilizados en nuestro medio

De acuerdo a la capacidad de la producción nacional y a los equipos utilizados en cada línea de fabricación de los diferentes productos que se comercializan, se ha determinado un grupo base de materiales sintéticos, que vienen a estandarizar las aplicaciones.

Dentro de estas, tenemos dos grupos de materiales que son: bandas transportadoras y correas de transmisión de potencia.

1.2.1 Bandas Transportadoras

Estos materiales son de fabricación sintética utilizados en la mayoría de industrias donde los productos no generan cargas excesivas.

De manera general están compuestas de tres capas como se puede apreciar en la Figura 1.3., y se las puede clasificar de la siguiente manera:

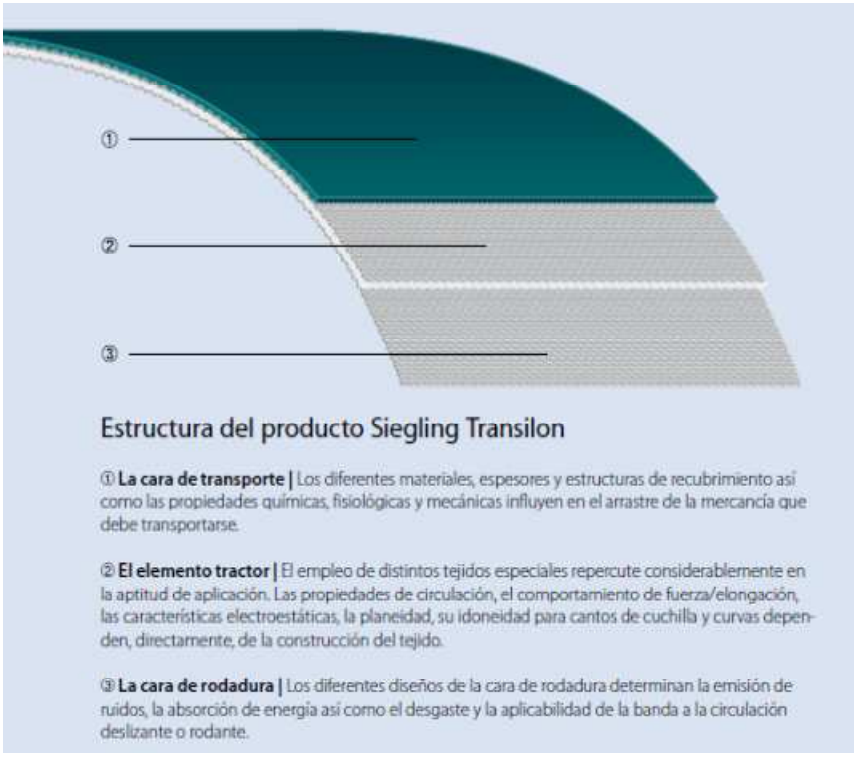


Figura 1.3 Estructura de una banda de transporte[9]

1.2.1.1 Bandas de PVC

En este grupo cabe resaltar que la estructura de la banda basa su resistencia en capas de tejido de poliéster monofilamento, existiendo en nuestro mercado de dos y tres capas.

La característica principal de este tipo de bandas es la cobertura que brinda, pudiendo ser usadas en diferentes industrias, así tenemos por ejemplo que en la industria alimenticia es común el empleo de PVC blanco con certificación FDA, o PVC color verde para el transporte de productos en general tal como se puede apreciar en la Figura 1.4.

La resistencia de estas bandas está asociada al número de capas, y es determinada de acuerdo al tipo trabajo que realizarán, así por ejemplo las bandas de tres capas se utilizan para transportar productos con cargas importantes y en transportadores que cubren grandes distancias.

[9] FORBO SIEGLING GmbH, "*Bandas de Transporte*", Forbo Siegling, Alemania, 2000.

Figura 1.4 Bandas tipo PVC[10]

1.2.1.2 Bandas de poliuretano

Este tipo de bandas son usualmente aplicadas en la industria de caramelos y chocolates, dado que el recubrimiento de poliuretano no permite la adherencia de estos productos por lo que dan gran facilidad para la transportación a lo largo de toda la línea de proceso.

Dada la estructura de ciertos equipos de la industria especialmente del chocolate, donde existen puntos críticos que inclusive no tienen rodillos, las bandas a utilizarse son muy finas (entre 0.7 y 1 mm de espesor) y con apenas una sola capa de resistencia como se observa en la Figura 1.5, esto permite alcanzar giros en filo de cuchilla sin tener inconvenientes en el área de la junta pegada.

[10] http://www.transred.es/page_4.html

Figura 1.5 Bandas de poliuretano[11]

1.2.2 Correas de transmisión de potencia

Son elementos fabricados también con productos sintéticos, sirven para transmitir movimiento alcanzando potencias de diferente valor de acuerdo a la aplicación. La base de este tipo de correas consiste en una capa de poliamida de diferentes espesores de alta resistencia pero gran flexibilidad, transformándose esta capa en el elemento tractor.

La resistencia de estos materiales está dada especialmente por el espesor de la poliamida, esta puede variar de acuerdo a la utilización en la industria, por ejemplo en el sector gráfico las correas aplicadas están en el rango de entre 2 y 6 N/mm., en tanto que en la textil alcanzan hasta los 15 N/mm., además, tenemos resistencias más altas por ejemplo en la industria papelera o en motores de accionamiento principal con resistencias de hasta 36 N/mm.

[11] http://www.rodicut.com/web/productos/ficha.php?id=3

1.2.2.1 Correas tipo LT

Este tipo de correa tienen como elemento tractor una capa de poliamida, además, una cobertura en cuero de alta adherencia a las poleas, lo que impide el patinaje y permite la transferencia de casi el 100% de la potencia aplicada.

Son aconsejadas para todas las transmisiones sometidas a sobrecargas violentas puesto que la cara de adhesión en cuero permite deslizamientos momentáneos sin peligros de desgaste, aptos para transmisiones cónicas, desmenuzadoras, industria del papel o transmisiones cruzadas, tal como se indica en la Figura 1.6.

Figura 1.6. Correa de transmisión tipo LT[12]

1.2.2.2 Correas tipo LL

Similares a las anteriores con la diferencia de que se pueden emplear en trabajos en los cuales se tiene doble rozamiento como ocurre cuando poseen una polea tensora en el lado opuesto a la tracción principal; por lo que para poder resistir este trabajo, este tipo de bandas posee una doble cobertura de cuero, uno en la superficie interna y otro en la externa del elemento tractor como se aprecia en la Figura 1.7.

[12] http://www.productosindustriales.es/correas_planas_de_transmision.htm

Figura 1.7. Correa de transmisión tipo LL[13]

1.2.2.3 Correas con recubrimiento de goma DG

Son correas de arrastre con doble recubrimiento de goma simétrica compuesta con elastómeros especiales, estudiados para asegurar una adherencia permanente, además de poseer una característica antiestática. Son aptas para la aplicación en maquinarias de altas revoluciones teniendo como ejemplo la industria textil y gráfica, como se muestra en la Figura1.8.

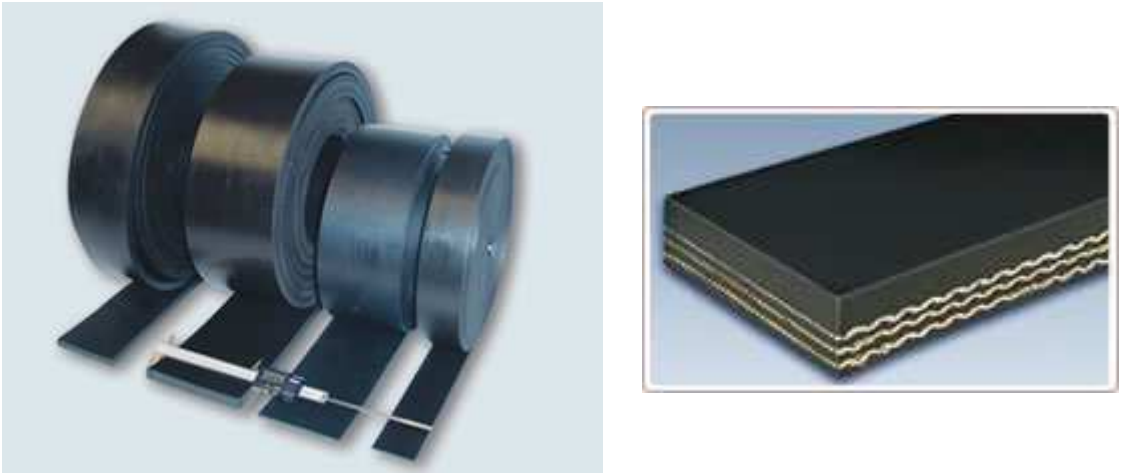


Figura 1.8. Bandas de goma[14]

[13] http://www.productosindustriales.es/correas_planas_de_transmision.htm
[14] http://salassl.es/bandas-de-goma/bandas-de-goma/gmx-niv52-con35.htm

1.2.2.5 Distribución de bandas y correas

En nuestro medio existen pocas empresas especializadas en este tema, las mismas que para la distribución importan los diferentes tipos de productos en rollos de distintas dimensiones los cuales son transportados y almacenados tal como se muestra en la Figura 1.9, estos serán luego preparados de acuerdo a la necesidad del cliente o industria en talleres especializados.

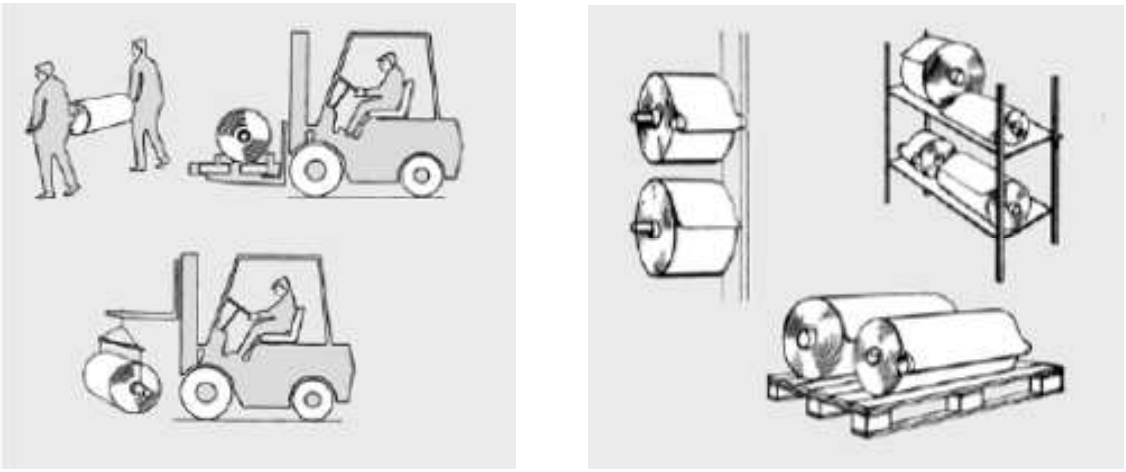


Figura 1.9. Transporte y almacenamiento de las bandas

1.3 Procedimientos de empalmes sin fin de bandas planas[15]

En cada caso el método de empalme sin fin a utilizar, dependerá del tipo de banda empleada y de las respectivas condiciones de servicio.

Aparte de la fiabilidad de una unión son también criterios decisivos para elegir uno u otro método, la flexibilidad de la misma y la utilidad de la aplicación técnica.

[15] FORBO SIEGLING GmbH, "*Tipos de empalme sin fin",* Forbo Siegling, Alemania, 2000.

1.3.1 Empalme en frío[16]

El pegado en frío de una unión cuneiforme o escalonada permite el montaje o la reparación independientes en el propio sitio de trabajo.

Cabe señalar, sin embargo, que la resistencia y flexibilidad de una unión realizada con este método son un tanto limitadas.

Su realización es similar a la de los empalmes en caliente, aunque sin necesidad de prensas calefactoras.

Es un tipo de empalme que no ofrece las mismas garantías de resistencia y durabilidad del empalme en caliente, pero que en ocasiones debe realizarse por razones de espacio, rapidez, etc., siempre y cuando la tensión de trabajo de la banda sea lo suficientemente baja como para permitirlo.

1.3.2 Empalme mecánico [17]

Puede hacerse cortando ambos extremos de la banda a 90º. Existen diferentes modelos de grapas en el mercado y su colocación deberá hacerse de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

Este tipo de unión permite:

- Desmontar y montar una banda rápidamente y sin tener que retirar componentes del equipo.
- Reparar la banda en poco tiempo insertando un empalmador (grapas).
- Confeccionar la unión de modo rápido y sencillo.
- Dar mantenimiento preventivo a las juntas

[16] BANDAS TARRAGONA, "*Empalme de Bandas",* Tarragona SL., www.bandastarragona.com
[17] BANDAS TARRAGONA, "*Empalme de Bandas",* Tarragona SL., www.bandastarragona.com

1.3.2.1 Tipos de empalme mecánicos

En la figura 1.10 se puede observar ilustraciones de varios tipos de empalmes mecánicos. De manera general se pueden clasificar en los siguientes:

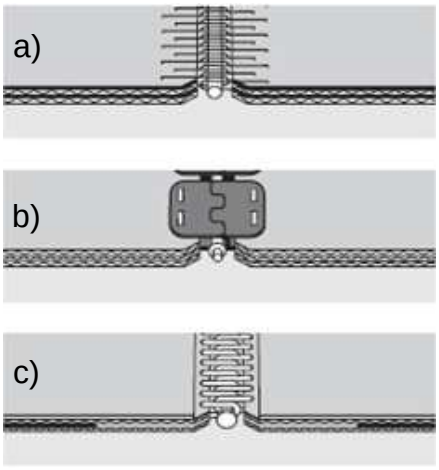


Figura 1.10. Tipos de empalmadores: a) Grapa tipo HS, b) Grapa de apriete tipo CS, c) Grapa de material sintético [18]

1.3.2.1.1 Empalme mecánico Estándar [19]

Son empalmes realizados con grapas tipo bisagra que ofrecen un método fácil, rápido y seguro para unir los extremos de una banda, tal como se muestra en la Figura 1.11

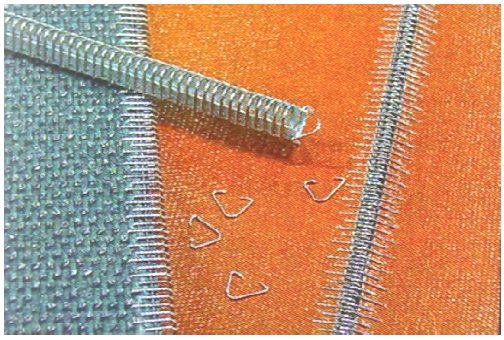


Figura 1.11. Empalme con grapas tipo bisagra y clipper[20]

[18] FORBO SIEGLING GmbH, "*Tipos de empalme sin fin",* Forbo Siegling, Alemania, 2000.
[19] BELTSERVICE CORPORATION, "*Catalogo de Productos y Servicios",* NIBA, México.
[20] BELTSERVICE CORPORATION, "*Catalogo de Productos y Servicios",* NIBA, México.

1.3.2.1.2 Unión Termoplástica Suave[21]

Esta unión incorpora un engrapado oculto vulcanizado que deriva en extra resistencia de los dedos alternados en corte recto como se indica en la Figura 1.12. La unión es asegurada con dos pasadores flexibles de conexión y su espesor es uniforme en la banda. Este método es aplicable a materiales termoplásticos de PVC y PU.

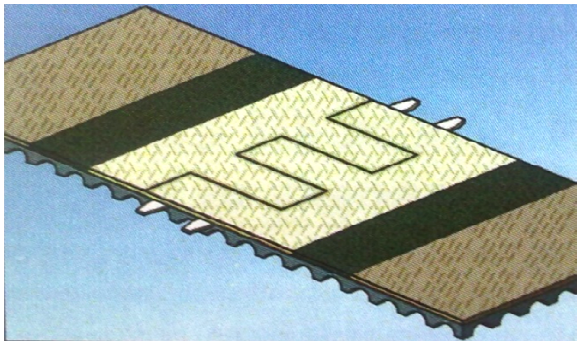


Figura 1.12. Unión termoplástica[22]

1.3.2.1.3 Empalme en Espiral [23]

Ideal para aplicaciones con poleas pequeñas. El diseño de la bisagra permite aplicarla en poleas y barras fijas de diámetros de 15.9mm y 4.8mm. Resiste corrosión y calor hasta 204ºC. Se instala en la planta y requiere incursión entre las capas. En la Figura 1.13 se ilustra este tipo de empalme.

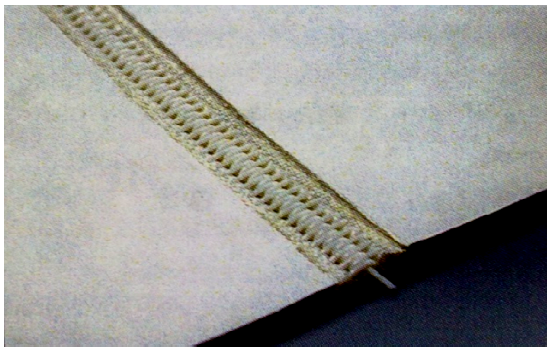


Figura 1.13. Empalme en espiral[24]

[21] BELTSERVICE CORPORATION, "*Catalogo de Productos y Servicios",* NIBA, México.
[22] IDEM.
[23] IDEM.
[24] IDEM.

1.3.2.1.4 Empalme con Grapas Cubiertas[25]

En este tipo de empalme las grapas están cubiertas por la banda. Permite la instalación fácil de una banda engrapada así como una operación suave.

Tal como se puede apreciar en la Figura 1.14, el producto se protege del daño de las grapas mecánicas y puede ser cubierto por hule o uretano resistente a la abrasión.

Si la banda va a ser limpiada, un empalme escondido por la cubierta superior será suficiente. Cuando las grapas están escondidas por las dos cubiertas, el producto y el transportador están protegidos.

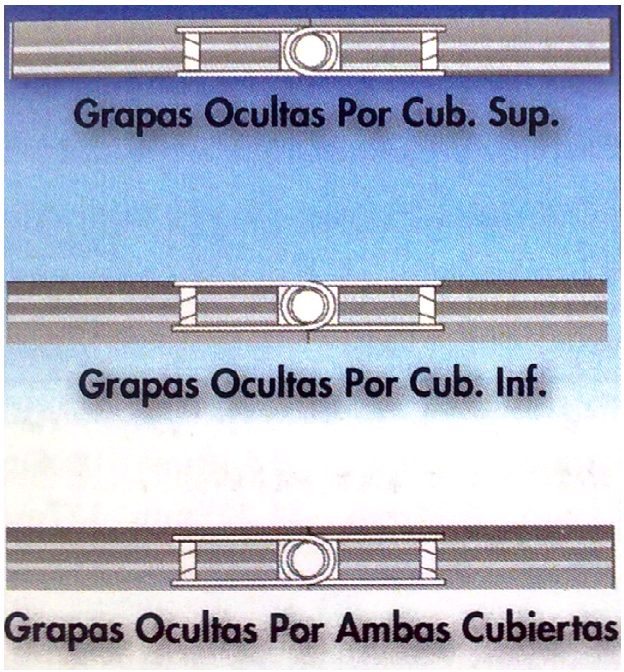


Figura 1.14. Empalme con grapas ocultas[26]

[25] BELTSERVICE CORPORATION, "*Catalogo de Productos y Servicios",* NIBA, México.
[26] IDEM

1.3.2.1.5 Empalme Traslapado[27]

La cubierta superior de la banda se separa y se lleva a cabo el empalme mecánico como se indica en la Figura 1.15. Se coloca nuevamente la cubierta y se obtiene una superficie tersa 100%. El producto transportado está protegido contra cualquier daño ocasionado por las grapas. La cubierta superior debe ser pegada al momento de la instalación.

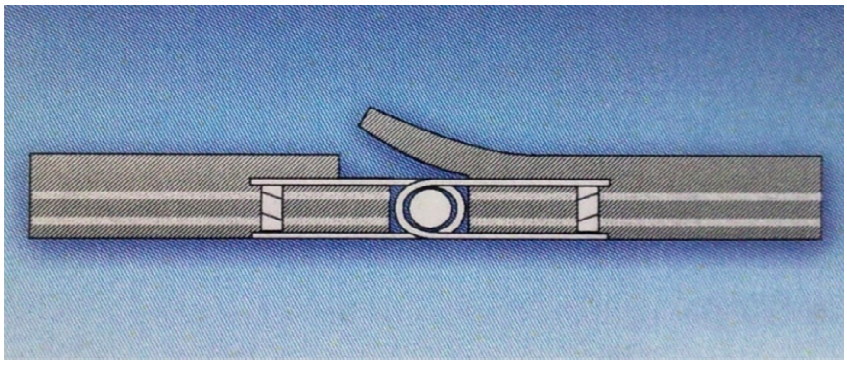


Figura 1.15. Empalme traslapado[28]

1.3.2.1.6 Empalme con Hueco[29]

Al área del empalme, se le quita la cubierta superior como se puede observar en la Figura 1.16. Este empalme evita que el producto a transportar haga contacto con las grapas y también en el caso de bandas corrugadas sirve para obtener un mejor agarre de las grapas.

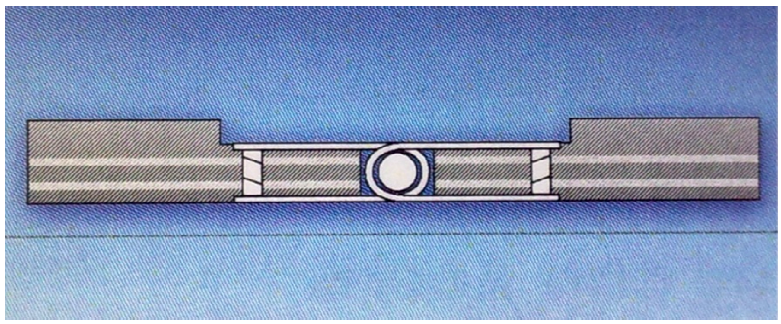


Figura 1.16. Empalme con hueco[30]

[27] BELTSERVICE CORPORATION, "*Catalogo de Productos y Servicios",* NIBA, México
[28] IDEM
[29] IDEM
[30] IDEM

1.3.2.1.7 Empalme con Grapas tipo Remache de Plástico[31]

Las grapas utilizadas en este empalme tienen bordes biselados y en la parte baja están devanadas para protegerlas. Pueden ser instaladas en taller o en campo si se desea. Generalmente se usan de color blanco para el transporte de productos alimenticios y negra para usos generales como se puede apreciar en la Figura 1.17.

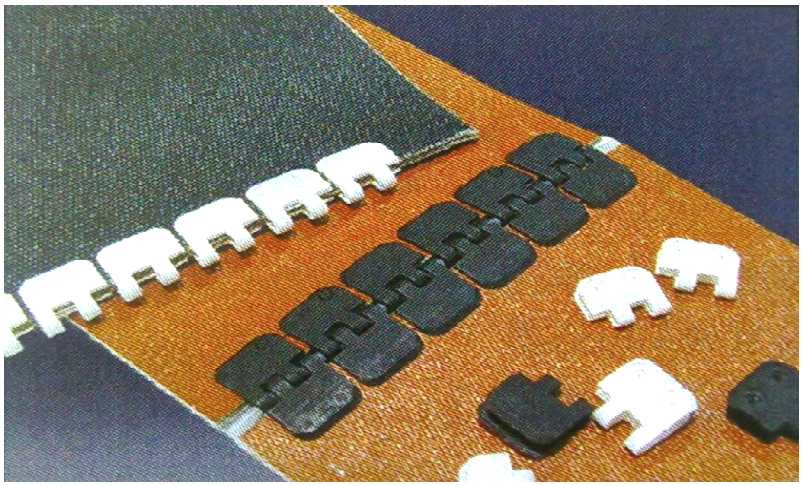


Figura 1.17. Empalme con grapas de plástico[32]

1.3.3 Empalme en caliente[33]

Una unión confeccionada en caliente ofrece la máxima estabilidad y flexibilidad, además, proporcionan una mayor resistencia del empalme así como duración y suavidad de funcionamiento.

La resistencia de la banda en la zona de empalme, depende del escalonamiento y cuidado con el que se realiza.

El tipo de los materiales a emplear en el empalme depende de los de la propia banda y normalmente deben ser suministrados por el propio fabricante.

---

[31] BELTSERVICE CORPORATION, "*Catalogo de Productos y Servicios",* NIBA, México
[32] BELTSERVICE CORPORATION, "*Catalogo de Productos y Servicios",* NIBA, México
[33] BANDAS TARRAGONA, "*Empalme de Bandas",* Tarragona SL., www.bandastarragona.com

1.3.3.1 Tipos de empalme

Una unión confeccionada en caliente ofrece la máxima estabilidad y flexibilidad, y se pueden realizar las versiones siguientes:

1.3.3.1.1 Unión en micro Z [34]

Es un método de empalme tradicional que asegura homogeneidad de espesor y alineación solo aplicable para bandas de baja resistencia. También se lo conoce como empalme “Fast Join” para bandas y correas como se indica en la Figura 1.18.

Figura 1.18. Empalme micro Z[35]

1.3.3.1.2 Unión en Z simple [36]

Es un tipo de empalme que asegura la máxima flexibilidad. Aconsejada para aplicaciones con cuchillas fijas. Se puede realizar un refuerzo para garantizar una más elevada resistencia a la tracción y para aplicaciones gravosas.

El empalme en Z es muy eficaz para bandas de una sola capa en el que se utiliza poliuretano como cemento o adhesivo. El área de empalme tiene el mismo espesor que la banda y el acabado es terso y parejo como se observa en la Figura 1.19.

---

[34] CHIORINO, “*Catalogo General”,* Chiorino, Mexico, 2009.
[35] CHIORINO, “*Catalogo General”,* Chiorino, Mexico, 2009.
[36] FORBO SIEGLING GmbH, “*Tipos de empalme sin fin”,* Forbo Siegling, Alemania, 2000.

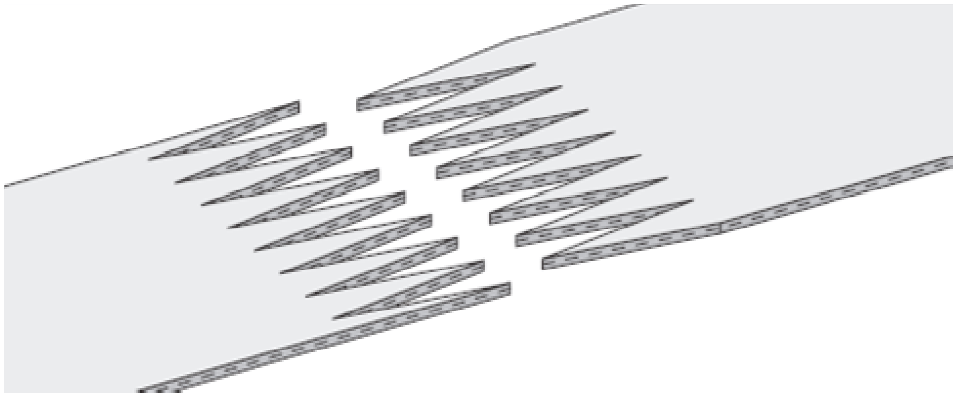


Figura 1.19. Empalme en Z simple[37]

1.3.3.1.3 Unión en Z escalonada o doble Z [38]

El empalme de doble Z posee características equiparables a las de la unión en Z simple. Es apropiada también para condiciones de servicio rudas (p. ej., tambores sucios). Se lo puede realizar en diversos tipos de banda de 2 y 3 capas como se indica en la Figura 1.20. Es un empalme que asegura elevada resistencia a la tracción en alternativa al empalme zeta simple.

Los dedos troquelados y escalonados se vulcanizan al mismo tiempo para crear un empalme fuerte pero extremadamente flexible.

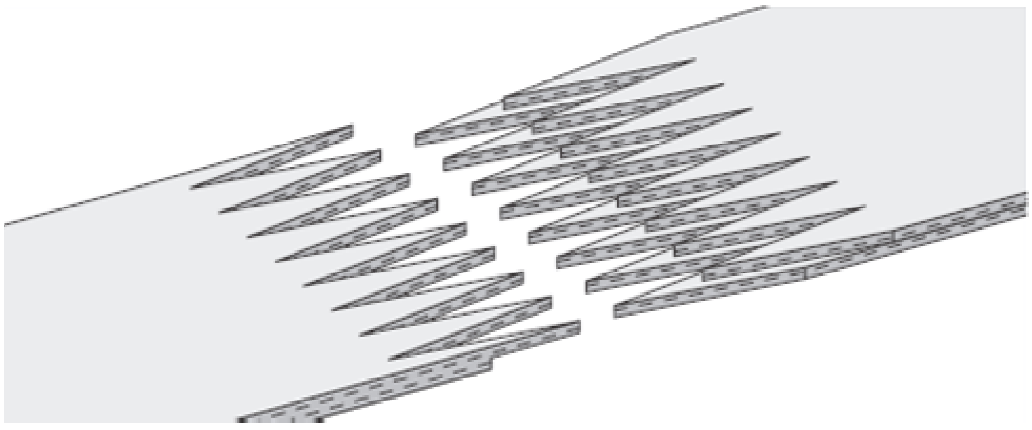


Figura 1.20. Empalme de doble Z[39]

[37] FORBO SIEGLING GmbH, "*Tipos de empalme sin fin",* Forbo Siegling, Alemania, 2000.
[38] CHIORINO, "*Catalogo General",* Chiorino, México, 2009.
[39] FORBO SIEGLING GmbH, "*Tipos de empalme sin fin",* Forbo Siegling, Alemania, 2000

1.3.3.1.4 Unión escalonada [40]

Un empalme escalonado es un método específico para unos tipos de bandas y para aplicaciones especiales, en alternativa al método tradicional en doble zeta. En particular, para tipos de bandas de 2 y 3 capas con recubrimientos plásticos (PVC, Poliuretano) con ángulo opcional menor a 90º, como se puede apreciar en la Figura 1.21, ésto hace progresivo el contacto del empalme con las poleas y mejora la resistencia del empalme.

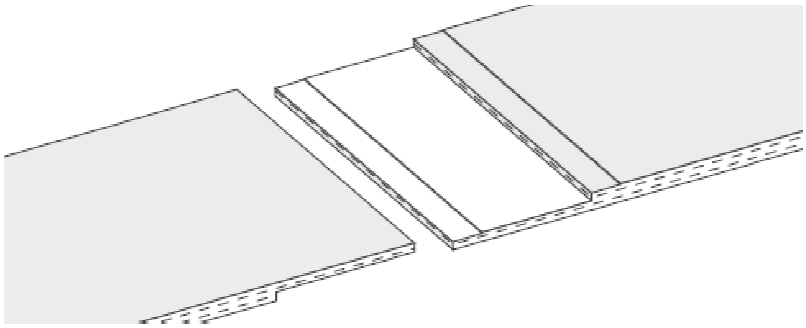


Figura 1.21. Empalme escalonado[41]

1.3.3.1.5 Unión biselada [42]

La unión biselada es un tipo de empalme sin fin de pegado en caliente para tejido de capas múltiples. Es más fuerte y requiere menos inspección que un empalme mecánico. Elimina el peligro de daños debido a las grapas. Es ideal para procesos de transporte o transmisión de potencia. En la Figura 1.22 se ilustra este tipo de junta.

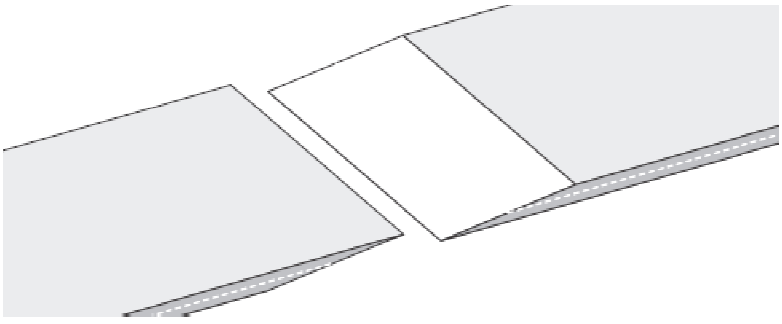


Figura 1.22. Empalme con bisel[43]

[40] FORBO SIEGLING GmbH, "*Tipos de empalme sin fin",* Forbo Siegling, Alemania, 2000.
[41] FORBO SIEGLING GmbH, "*Tipos de empalme sin fin",* Forbo Siegling, Alemania, 2000.
[42] BELTSERVICE CORPORATION, "*Catalogo de Productos y Servicios",* NIBA, México
[43] FORBO SIEGLING GmbH, "*Tipos de empalme sin fin",* Forbo Siegling, Alemania, 2000.

1.3.3.2 Equipos para empalme en caliente

Para un empalme fiable sin fin en caliente de bandas de transporte y procesamiento, el uso del equipo más apropiado dependerá, sobre todo, del tipo de empalme.

Además, es importante tener en cuenta el ancho de la banda a empalmar y en qué condiciones se pretende confeccionar la unión (taller o montaje en la máquina).

Entre los principales equipos necesarios para realizar un empalme en caliente se requieren los siguientes:

1.3.3.2.1 Troqueladora

Se tienen troqueladoras de accionamiento manual e hidráulico como se aprecia en la Figura 1.23. Las máquinas troqueladoras son de utilidad para realizar empalmes tipo Z en cualquiera de sus presentaciones.

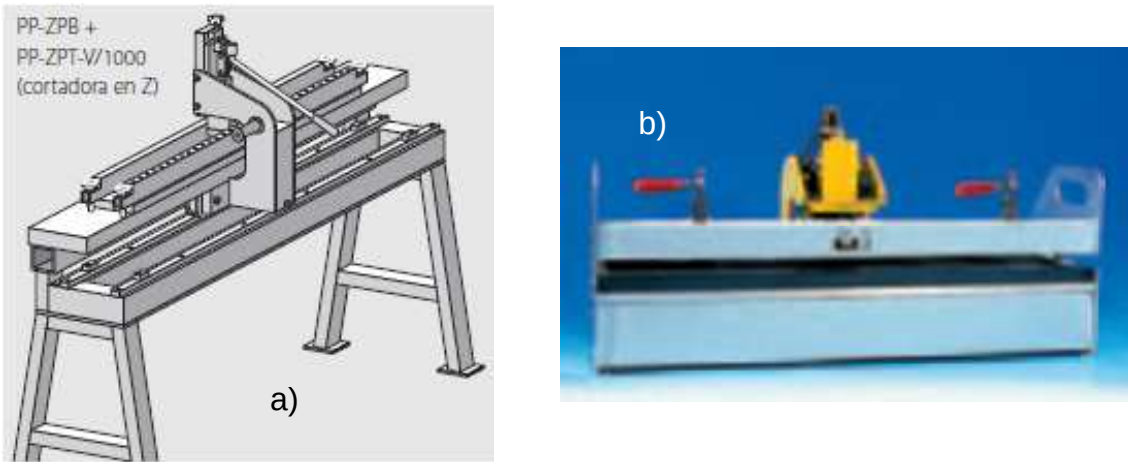


Figura 1.23. a) Troqueladora de accionamiento manual, b) Troqueladora de accionamiento hidráulico[44]

[44] a) FORBO SIEGLING GmbH, "*Bandas de transporte y procesamiento",* Siegling, Alemania, 2000
b) CHIORINO, "*Catalogo General",* Chiorino, México, 2009

1.3.3.2.2 Cortadora

Es una máquina usada para cortes longitudinales de bandas planas. En la Figura 1.24 se muestra una cortadora longitudinal manual.

Figura 1.24. Cortadora longitudinal de bandas.[45]

1.3.3.2.3 Separadora de capas.

Facilita la preparación de las juntas para bandas de 2 o más capas que admiten empalme escalonado o de doble Z, separando de manera rápida las capas que posee la banda. En la figura 1.25 se puede observar un esquema de este equipo.

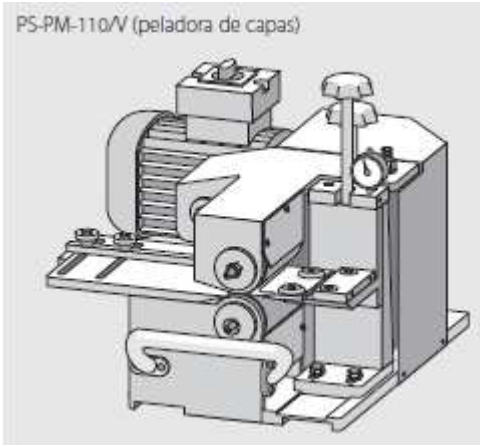


Figura 1.25. Máquina separadora de capas[46]

[45] RAPPLON-AMMERAAL BELTECH, "*Catalogo de Dispositivos de Preparación y Pegado de Bandas"*, Switzerland, 2007.
[46] FORBO SIEGLING GmbH, "*Bandas de transporte y procesamiento",* Siegling, Alemania, 2000.

1.3.3.2.4 Biseladoras

Son máquinas usadas para prepara las juntas con un determinado bisel para su posterior empalme. En la figura 1.26 se puede observar una ilustración de este equipo.

Figura 1.26. Biseladora[47]

1.3.3.2.5 Prensa Calefactora

Es un equipo diseñado para realizar el empalme en caliente de bandas planas de transporte y de correas de transmisión, mediante la aplicación de presión y calor, a través de dos placas paralelas. En la Figura 1.27 se presenta un esquema de este equipo y de manera general consta de las siguientes partes:

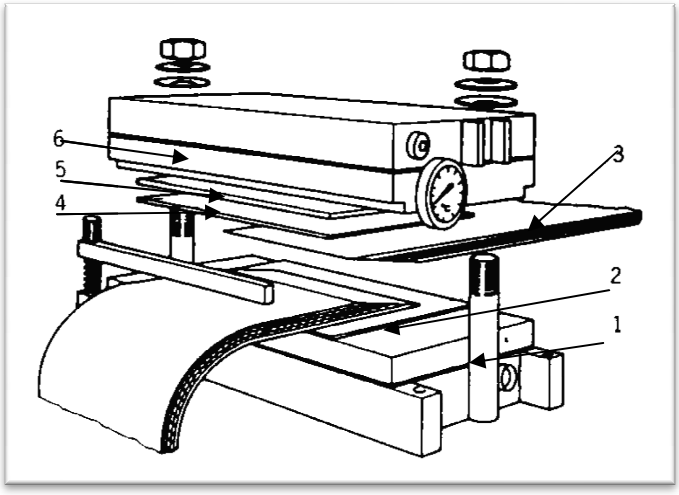


Figura 1.27. Esquema de la prensa calefactora[48]

[47] RAPPLON-AMMERAAL BELTECH, "*Catalogo de Dispositivos de Preparación y Pegado de Bandas"*, Switzerland, 2007.
[48] RAPPLON, "*Instrucciones para el empalme",* LEDER BELTECH, Manchester, 2007.

1. Placa calefactora inferior
2. Tejido teflón inferior
3. Banda biselada para proceso de empalme
4. Tejido teflón superior
5. Placa de goma
6. Placa calefactora superior

1.3.3.3 Resinas y adhesivos

Son sustancias capaces de mantener unidas las superficies en contacto de dos sólidos, ya sean del mismo o distinto material. Estos adhesivos se distribuyen sobre las superficies a unir, dejándolas durante un período de tiempo para la evaporación parcial del disolvente que los acompaña para la posterior unión de las dos caras, formando así, un fuerte enlace con elevada resistencia.

1.3.3.4 Proceso de empalme en caliente

- *Preparación del empalme.-* para la preparación del empalme se debe tomar en cuenta el largo del bisel que se va a realizar, que dependerá del tipo de banda que se vaya a usar y de las recomendaciones del fabricante tal como se aprecia en la Figura 1.28

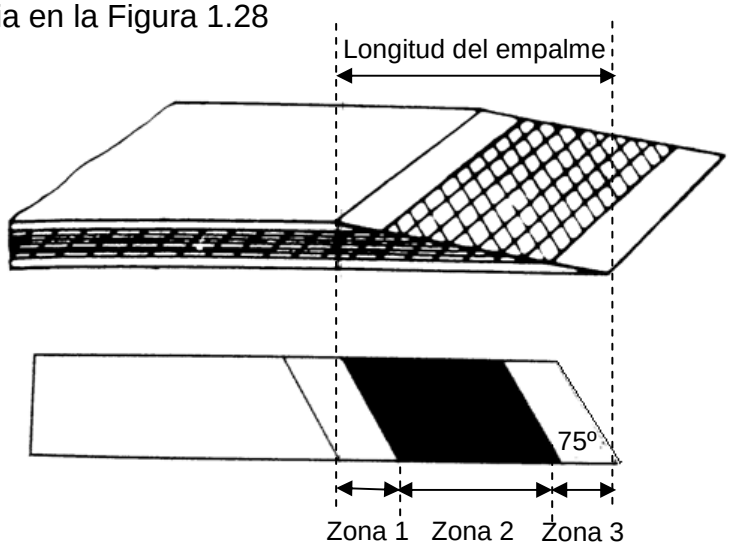


Figura 1.28 Identificación de zonas para empalme en bisel[49]

[49] RAPPLON, "*Instrucciones para el empalme",* LEDER BELTECH, Manchester, 2007.

. Como regla general es muy importante que los extremos del bisel queden perfectamente afilados.

- *Aplicación de pegamentos sobre las superficies de empalme.-* es importante limpiar los biseles con tricloroetileno comercial y dejar secar. Untar el empalme seco y limpio con el pegamento correspondiente.

  Para superficies de empalme de cuero: se debe raspar las superficies de empalme con cepillo-raspador. Untar pegamento 103L con un pincel y dejar secar por 20 minutos. Untar 103L otra vez, dejar ventilar durante 10 minutos. Después seguir las instrucciones para superficies en tejido y poliamida.

  Para superficies de empalme de goma: se debe untar ligeramente el pegamento 600 con espátula. Después seguir las instrucciones para superficies en tejido y poliamida.

  Para superficies de empalme de tejido y poliamida: se debe repartir bien cuidadosamente con un pincel el pegamento 118N en una capa fina y dejar penetrar 2 a 5 minutos antes de insertar el empalme en la prensa.

- *Colocación en prensa calefactora.-* se debe colocar los dos biseles impregnados con pegamento de forma congruente en la prensa calefactora y fijar con las regletas de apriete. Cerrar la prensa y apretar fuertemente por igual las tuercas. Encender el equipo hasta alcanzar una temperatura de 100ºC (a nivel del mar).

  Tiempo de prensado: Después de alcanzar la temperatura, desconectar la prensa calefactora o retirar el enchufe y dejar enfriar hasta alcanzar la temperatura ambiente. Abrir la prensa, retirar la correa y limpiar los bordes. Después de este proceso, la correa puede ser utilizada inmediatamente.

1.4 Resistencias eléctricas calefactoras

Son resistencias eléctricas que proporcionan calor a través de su superficie hacia otro material debido al contacto existente entre los dos.

1.4.1 Resistencia eléctrica

La resistencia eléctrica está definida como toda oposición que encuentra la corriente a su paso por un circuito eléctrico cerrado, atenuando o frenando el libre flujo de las cargas eléctricas o electrones. En la figura 1.29 se puede observar como varia este flujo.

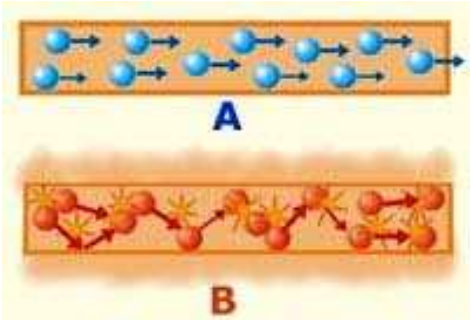


Figura 1.29. A.-Electrones fluyendo por un buen conductor eléctrico que ofrece baja resistencia. B.- Electrones fluyendo por un mal conductor eléctrico, que ofrece alta resistencia a su paso.[50]

Normalmente los electrones tratan de circular por el circuito eléctrico de una forma más o menos organizada, de acuerdo con la resistencia que encuentren a su paso.

Mientras menor sea esa resistencia, mayor será el orden de los electrones; pero cuando la resistencia es elevada, comienzan a chocar unos con otros y a liberar energía en forma de calor. Esa situación hace que siempre se eleve algo la temperatura del conductor y que, además, adquiera valores más altos en el punto donde los electrones encuentren una mayor resistencia a su paso.

[50] http://www.asifunciona.com/electrotecnia/ke_resistencia/ke_resistencia_1.htm

1.4.2 Ley de Ohm

La Ley de Ohm afirma que la corriente que circula por un conductor eléctrico es directamente proporcional a la tensión e inversamente proporcional a la resistencia siempre y cuando su temperatura se mantenga constante.

La ecuación matemática que describe está relación es:

$$I = \frac{V}{R}$$

(Ec. 1.4-1)

Donde, *I* es la corriente que pasa a través del objeto en amperios, *V* es la diferencia de potencial de las terminales del objeto en voltios, y *R* es la resistencia en ohmios (Ω). Específicamente, la ley de Ohm dice que la *R* en esta relación es constante.

1.4.3 Resistividad

Se le llama resistividad al grado de dificultad que encuentran los electrones en sus desplazamientos. Se designa por la letra griega rho minúscula (ρ) y se mide en ohm-metros (Ω•m).

Su valor describe el comportamiento de un material frente al paso de corriente eléctrica, por lo que da una idea de lo buen o mal conductor que es. Un valor alto de resistividad indica que el material es mal conductor mientras que uno bajo indicará que es un buen conductor.

La resistividad *[ρ] (rho)* se define como:

$$\rho = \frac{R * A}{L}$$

(Ec. 1.4-2)

Donde:

- ρ es la resistividad medida en ohmios-metro
- R es el valor de la resistencia eléctrica en Ohmios
- L es la longitud del material medida en metros
- A es el área transversal medida en metros cuadrados

De la Ec. 1.4-2, se puede deducir que el valor de un resistor, utilizado normalmente en electricidad y electrónica, depende en su construcción, de la resistividad (material con el que fue fabricado), su longitud, y su área transversal como se observa en la Figura 1.30.

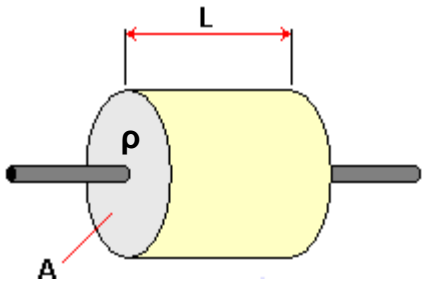


Figura 1.30 Elementos que intervienen en la resistencia de un material [51]

- A mayor longitud y menor área transversal del elemento, más resistencia.
- A menor longitud y mayor área transversal del elemento, menos resistencia.

Material	Resistividad (en 20 ℃-25 ℃) (Ω·m)
Plata	$1{,}55 \times 10^{-8}$
Cobre	$1{,}71 \times 10^{-8}$
Oro	$2{,}22 \times 10^{-8}$
Aluminio	$2{,}82 \times 10^{-8}$
Wolframio	$5{,}65 \times 10^{-8}$
Níquel	$6{,}40 \times 10^{-8}$
Hierro	$8{,}90 \times 10^{-8}$

[51] http://www.unicrom.com/Tut_resistividad.asp

Platino	10,60 x 10^{-8}
Estaño	11,50 x 10^{-8}
Acero inoxidable 301	72,00 x 10^{-8}
Grafito	60,00 x 10^{-8}

Tabla 1.1 Tabla de resistividades de algunos materiales[52]

1.4.4 Relación entre la resistencia eléctrica y la temperatura

La temperatura influye directamente en la resistencia que ofrece un conductor al paso de la corriente eléctrica. A mayor temperatura la resistencia se incrementa, mientras que a menor temperatura disminuye.

La resistencia de un conductor metálico se incrementa al aumentar la temperatura, dicho variación depende del coeficiente térmico de resistividad α (el cual se define como el cambio de resistividad por grado centígrado de variación a 0ºC o a 20 ºC).

$$R = Ro(1 + \alpha\, \Delta T)$$

(Ec. 1.4-3)

Donde:

R_0 = resistencia a la temperatura de referencia (generalmente 20 ºC).

α = es el coeficiente de temperatura de la resistencia.

1.4.5 Resistencias eléctricas calefactoras industriales

Una resistencia eléctrica calefactora es un dispositivo que genera calor mediante el incremento de su resistencia. Normalmente son construidas de acero inoxidable y aisladas, lo cual permite mantener una temperatura de trabajo elevada en procesos térmicos a nivel industrial.

Entre los principales tipos de resistencias calefactoras se tienen las siguientes:

[52] http://es.wikipedia.org/wiki/Resistividad

1.4.5.1 Resistencias tipo cartucho tubulares [53]

Las resistencias tipo tubular, por su construcción blindada son ideales para calentamiento de líquidos o corrosivos, fabricadas con forros de acero inoxidable.

Las formas de sujeción son variadas de acuerdo a sus necesidades, con tapón npt, brida, conectores, placas, etc.

Este tipo de resistencias de igual forma son utilizadas para el calentamiento de cañones y dados de extrusión, solos que llevan un vaciado de aluminio ó bronce para poder adoptar la forma plana o cilíndrica de los moldes. En la Figura 1.31 se puede observar dos tipos distintos de resistencias de cartucho.

Figura 1.31 Resistencia tubular[54]

1.4.5.2 Resistencia tipo banda o abrazadera[55]

Las resistencias tipo banda o abrazadera, se fabrican sobre diseño y con diferentes acabados, pudiendo presentar una conexión por cables ó tornillos, así como diferentes modos de sujeción.

Las resistencias tipo banda son calefactores aislados con mica o cerámica que consiste prácticamente en una abrazadera la cual la sujeta al área cilíndrica que se

[53] http://www.everyoneweb.com/alphacalor/
[54] http://www.jmi.com.mx/resistencias.htm
[55] http://www.everyoneweb.com/alphacalor/

requiere calentar, las terminales de conexión pueden ser tipo tornillo ó cables flexibles, existen una gran cantidad de tamaños y formas como se muestra en la Figura 1.32.

De igual manera se puede disponer de caja de protección a las terminales, clavijas industriales, bases de enchufes protegidas, etc.

Figura 1.32 resistencias tipo banda o abrazadera[56]

1.4.5.3 Resistencias tipo cartucho de baja y alta concentración[57]

Las resistencias de cartucho de baja concentración son económicas para bajas y medianas temperaturas, normalmente son introducidas en un barreno hecho de material conductor de calor tal como se aprecia en la Figura 1.33.

Algunas aplicaciones de este tipo de resistencias se encuentran en moldes, cilindros, estampadoras, sellado de bolsas, inyectoras de plástico, entre otros.

[56] http://www.everyoneweb.com/alphacalor/
[57] http://www.jmi.com.mx/resistencias.htm

Las resistencias de alta concentración son utilizadas comúnmente en aplicaciones de alta temperatura, la durabilidad en comparación a las de baja concentración es de más de 10 veces y brindan mucho más potencia eléctrica en la misma área.

Figura 1.33 Resistencia tipo cartucho de concentración [58]

1.4.5.4 Resistencias de inmersión[59]

Estas consisten en uno o varios elementos tubulares soldados en una placa o brida como se puede observar en la Figura 1.34. Son utilizadas en aplicaciones donde se requiere calor directo. Agua, soluciones acuosas, aceites, ceras, parafinas, etc. son algunos de los productos que son calentados con este tipo de calefactor.

Figura 1.34 Resistencia de inmersión[60]

[58] http://www.jmi.com.mx/resistencias.htm
[59] http://www.jmi.com.mx/resistencias.htm
[60] http://www.jmi.com.mx/resistencias.htm

1.4.5.5 Resistencias planas[61]

Estas resistencias se utilizan para el calentamiento totalmente uniforme, ya que el hilo calefactor está bobinado uniforme en toda la resistencia. Son adecuadas para el calentamiento de piezas que por su espesor no permiten colocar los elementos tipo cartucho. Una ilustración de esta resistencia se observa en la Figura 1.35.
Una advertencia sobre estas resistencias es que, para un correcto funcionamiento, tienen que estar completamente apretadas contra la zona a calentar.

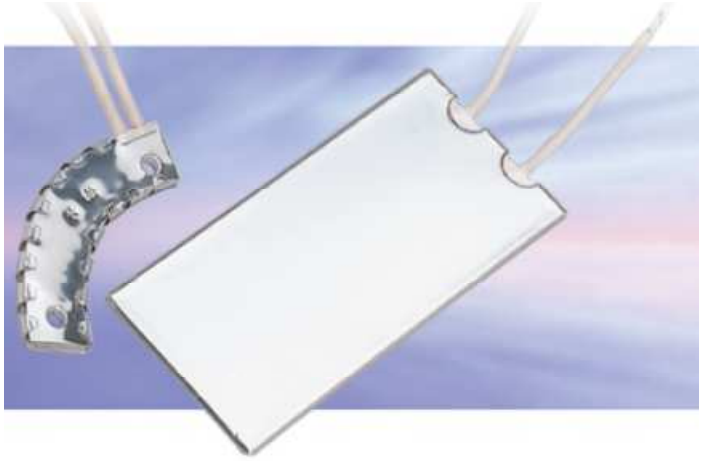


Figura 1.35 Resistencia plana[62]

1.5 Dispositivos de control de temperatura

Un sistema de control de temperatura obtiene una señal mediante un sensor, la cual es tratada, ya sea digital o análogamente (según el tipo de control a tratar). Dicha señal pasa a través de un sistema de control el cual activa, desactiva o regula la acción del controlador sobre la variable de temperatura. Un sistema de control consta básicamente de las etapas mostradas en la Figura 1.36 y son:

[61] http://www.resistencias-rci.es/pdf/fabricacion/rch.pdf
[62] http://www.resistencias-rci.es/pdf/fabricacion/rch.pdf

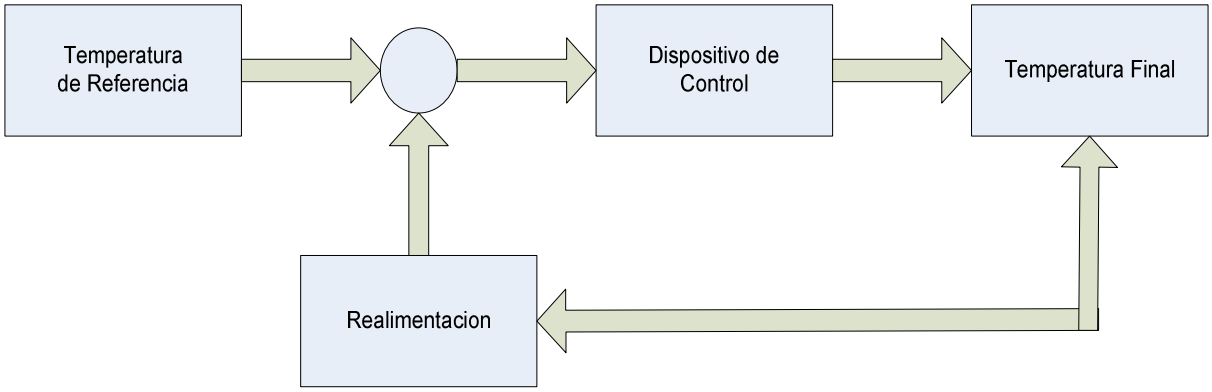


Figura 1.36. Esquema de un sistema de control de temperatura

1.5.1 Sensores de temperatura

Un sensor de temperatura es un dispositivo capaz de medir una magnitud física (en este caso temperatura) denominada variable de instrumentación, la cual será transformada en una variable eléctrica.

Entre los tipos más comunes de sensores de temperatura tenemos los siguientes:

1.5.1.1 Termómetros de líquido[63]

Su operación está basada en la expansión del líquido con el incremento de la temperatura; esto es, el líquido actúa como un transductor, convierte la energía termal en una forma mecánica. Con el incremento de la temperatura, el líquido y el vidrio del termómetro se expanden con diferente coeficiente de expansión, causando que el líquido avance por el tubo capilar.

[63] http://www.metas.com.mx/guiametas/La-Guia-MetAs-08-09-termometros-liquido-en-vidrio.pdf

1.5.1.1.1 Termómetros de mercurio[64]

Tiene un rango que va desde -39 ℃ (punto de congel ación del mercurio) a 357 ℃ (su punto de ebullición), son portátiles y permiten una lectura directa como se observa en la Figura 1.37. No son muy precisos para fines industriales.

Figura 1.37 Termómetro de mercurio[65]

1.5.1.1.2 Termómetros de alcohol coloreado[66]

Tiene un rango que va desde - 112 ℃ (punto de cong elación del etanol, el alcohol empleado en él) hasta 78 ℃ (su punto de ebullición), cubriendo por lo tanto toda la gama de temperaturas que se encuentra normalmente en nuestro entorno.

Como se puede observar en la Figura 1.38, este termómetro es también portátil, pero todavía menos preciso; sin embargo, presenta un cómodo empleo,

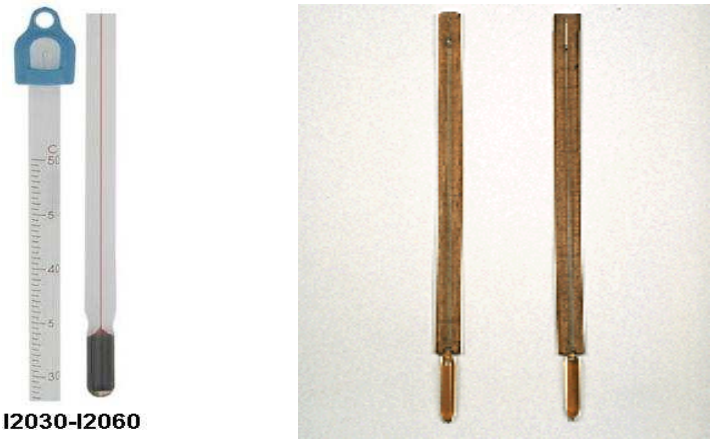


Figura 1.38. Termómetro de alcohol [67]

[64] http://www.monografias.com/trabajos14/termoins/termoins.shtml
[65] http://www.aguamarket.com/sql/productos/productos.asp?producto=8109&nombreProducto=Termometro+Industriales+de+vidrio+con+Funda+Cilindrica
[66] http://www.monografias.com/trabajos14/termoins/termoins.shtml
[67] http://thales.cica.es/rd/Recursos/rd99/ed99-0314-01/calor.htm

1.5.1.2 Termómetros de gas[68]

Tiene un rango que va desde - 27 ℃ hasta 1477 ℃ m uy exacto, margen de aplicación extraordinario. Es un equipo más complicado y se utiliza como un instrumento normativo para la graduación de otros termómetros, varios de estos se pueden apreciar en la Figura 1.39.

Figura 1.39. Termómetro de gas[69]

1.5.1.3 Termómetros de resistencia de platino[70]

Es el más preciso en la gama de -259 ℃ a 631 ℃, y se puede emplear para medir temperaturas hasta de 1127 ℃, su funcionamiento de pende de la variación de la resistencia a la temperatura de una espiral de alambre de platino.

Reacciona despacio a los cambios de temperatura, debido a su gran capacidad térmica y baja conductividad, por lo que se emplea sobre todo para medir temperaturas fijas. Varios ejemplos se observan en la Figura 1.40

[68] http://www.monografias.com/trabajos14/termoins/termoins.shtml
[69] http://www.directindustry.es/cat/medida-sensores-caudal-presion-temperatura-nivel/termometros-de-dial-AB-818.html
[70] http://www.monografias.com/trabajos14/termoins/termoins.shtml

Figura 1.40. Termómetros de resistencia de platino[71]

1.5.1.4 Termistores [72]

Un termistor es un sensor resistivo de temperatura. Su funcionamiento se basa en la variación de la resistividad que presenta un semiconductor con la temperatura. Son sensores absolutos, es decir miden la temperatura respecto a 0º. De éstos los hay PTC y NTC, como se muestra en la Figura1.41.

- Los PTC (Positive Temperature Coeficient) aumentan su valor de resistencia al aumentar la temperatura.
- Los NTC (Negative Temperature Coeficient) disminuyen su valor de resistencia al aumentar la temperatura.

Figura 1.41. Termistores[73]

[71] http://spanish.alibaba.com/product-gs/pt100-platinum-resistance-thermometers-261203706.html
[72] http://edwardhuertas.blogspot.com/2009/02/termostatos-y-termoresistores.html
[73] http://ayudaelectronica.com/que-es-un-termistor/

1.5.1.5 Termocuplas[74]

Las termocuplas son el sensor de temperatura más común utilizado industrialmente, como los mostrados en la Figura 1.42. Una termocupla se hace con dos alambres de distinto material unidos en un extremo (soldados generalmente). Al aplicar temperatura en la unión de los metales se genera un voltaje muy pequeño (efecto Seebeck) del orden de los milivolts el cual aumenta con la temperatura.

Normalmente las termocuplas industriales se consiguen encapsuladas dentro de un tubo de acero inoxidable u otro material (vaina), en un extremo está la unión y en el otro el terminal eléctrico de los cables, protegido adentro de una caja redonda de aluminio (cabezal).

Figura 1.42. Termocuplas[75]

Existen una infinidad de tipos de termocuplas, pero casi el 90% de las termocuplas utilizadas son del tipo J ó del tipo K.

Las termocuplas tipo J se usan principalmente en la industria del plástico, goma (extrusión e inyección) y fundición de metales a bajas temperaturas.

La termocupla K se usa típicamente en fundición y hornos a temperaturas menores de 1300 ℃, por ejemplo fundición de cobre y hornos de tratamientos térmicos.

[74] http://proton.ucting.udg.mx/dpto/maestros/mateos/clase/Modulo_03/termocuplas.pdf
[75] http://www.diamoresa.com.ar/termopares.htm

Las termocuplas R, S, B se usan casi exclusivamente en la industria siderúrgica (fundición de acero).

Finalmente las del tipo T eran usadas hace algún tiempo en la industria de alimentos, pero han sido desplazadas en esta aplicación por los Pt100 (RTD).

1.5.1.6 Termo-resistencias (RTD)[76]

Los RTD ó dispositivos térmicos resistivos, son sensores de temperatura a los cuales también se les denomina "bulbos de resistencia", su principio de funcionamiento se basa en el hecho de que un metal al calentarse, cambia su valor de resistencia, y la magnitud de esta modificación puede relacionarse con la variación de la temperatura.

Las termo-resistencias de uso más común se fabrican de alambres finos soportados por un material aislante y luego encapsulados como se aprecia en la Figura 1.43. El elemento encapsulado se inserta luego dentro de una vaina o tubo metálico cerrado en un extremo que se llena con un polco aislante y se sella con cemento para impedir que absorba humedad.

Figura 1.43. Termo resistencias RTD's [77]

[76] http://www.sapiensman.com/medicion_de_temperatura/termorresistencias.htm
[77] http://www.pirometriatecnica.com/termoresistencias.php

1.5.2 Controladores de temperatura[78]

Un controlador de temperatura es, básicamente, un medidor al que se le agrega la posibilidad de fijar un "set" (temperatura deseada) y un circuito que compara la diferencia entre la temperatura real y la deseada, actuando en consecuencia para habilitar o no la calefacción o refrigeración que llevará la temperatura hasta niveles iguales al deseado de tal forma que, al hacerse cero la diferencia entre ambas temperaturas, la calefacción o refrigeración cese.

La forma en que se controla o habilita la calefacción, dependerá del tipo de control que se requiera, siendo el SI-NO (TODO-NADA) el más sencillo y rústico en su concepción. Sistemas más elaborados utilizan modos de control proporcionales, donde la potencia calefactora es proporcional a la magnitud del error.

Por otro lado y donde es necesario reducir los errores en el estado estacionario o mejorar el seguimiento cuando el "set" de temperatura es variable según perfiles programados, se utilizan controladores llamados PID (Proporcional-Integral-Derivativo) con los que se obtienen mejores resultados, aunque requieren de un cuidadoso proceso de sintonía (ajuste del peso con que interviene cada uno de los factores proporcional, integral y derivativo) para lograr el efecto deseado.

1.5.2.1 Controladores análogos[79]

Un controlador de temperatura análogo es un dispositivo simple, económico y de buena precisión, excelente para aplicaciones en la industria del plástico, alimentos, etc. Un ejemplo de este tipo de controladores se aprecia en la Figura 1.46. Posee salida de control a relé, alimentación de voltaje AC y controles tipo proporcional y ON//OFF.

---

[78] http://www.criba.edu.ar/cribabb/servicios/secelec/mycdetemp.htm

[79] COMIND componentes industriales LTDA., "*Manual del usuario Controlador de temperatura HY1000-2000-3000"*, COMIND, Santiago-Chile.

El control proporcional automáticamente activa y desactiva el relé de acuerdo a la demanda del proceso, según lo configurado en el setpoint. La banda proporcional (PB) es la región bajo y sobre el setpoint donde tendrá acción el control.

Un esquema del funcionamiento de este instrumento se lo observa en la Figura 1.44.

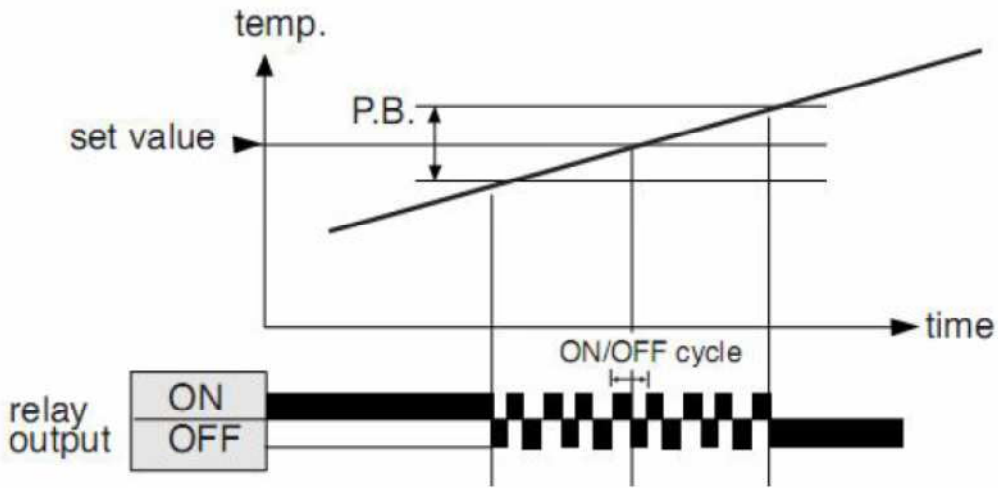


Figura 1.44. Diagrama de funcionamiento del control proporcional [80]

El control ON/OFF consiste principalmente en que si la variable del proceso está sobre el setpoint entonces la salida está en OFF, si ocurre lo contrario la salida estará ON como se indica en el diagrama de la Figura 1.45.

Este modo se ocupa cuando no se necesite mayor linealidad en la temperatura de acuerdo a la variable seteada. Esta linealidad depende del proceso y de las inercias térmicas del mismo.

[80] COMIND componentes industriales LTDA., "*Manual del usuario Controlador de temperatura HY1000-2000-3000"*, COMIND, Santiago-Chile.

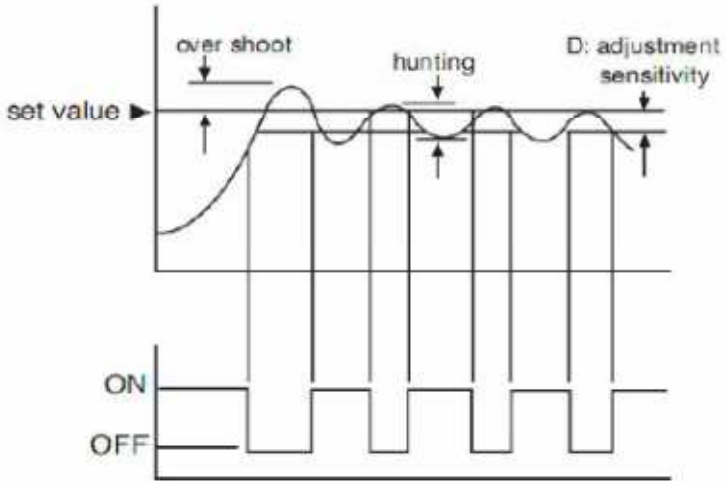


Figura 1.45. Diagrama de funcionamiento de control ON/OFF [81]

Figura 1.46. Controlador análogo de temperatura COMIND NY300 [82]

[81] COMIND componentes industriales LTDA., "*Manual del usuario Controlador de temperatura HY1000-2000-3000"*, COMIND, Santiago-Chile.
[82] IDEM

1.5.2.2 Controladores digitales[83]

Los controladores de temperatura digitales son dispositivos capaces de realizar además de controles ON/OFF y proporcionales, acciones compartidas de controles derivativos e integrativos que permiten un control más preciso y cercano al setpoint. En la Figura 1.47 se observa un ejemplo de este tipo de controladores.

Figura 1.47. Controlador digital de temperatura[84]

La función integral de control se encuentra en los controladores de acorte automático, el cual emplea un algoritmo matemático para calcular la magnitud de la caída y luego ajustar la salida para cortar el control y llevarlo más cerca al setpoint. Esta acción de corte automático tiene efecto solamente dentro de la banda proporcional. Si esta acción se efectúa fuera de la banda proporcional el sistema se hace inestable. Los controles integrales están preparados para impedir este efecto.

La función derivativa de control se usa cuando existen sobrepasos de temperatura, es decir, cuando en un proceso, durante su ciclado, sobrepasa el setpoint. Este sobrepaso puede ser pequeño e insignificante o lo bastante grande como para causar problemas con el proceso. En las Figuras 1.48 y 1.49 se presenta el esquema de funcionamiento del controlador.

---

[83] ARNOLDO GALETTO, "*Dispositivos de control de temperatura",* JM Industrial, México.
[84] http://www.ingecozs.com/n480d.html

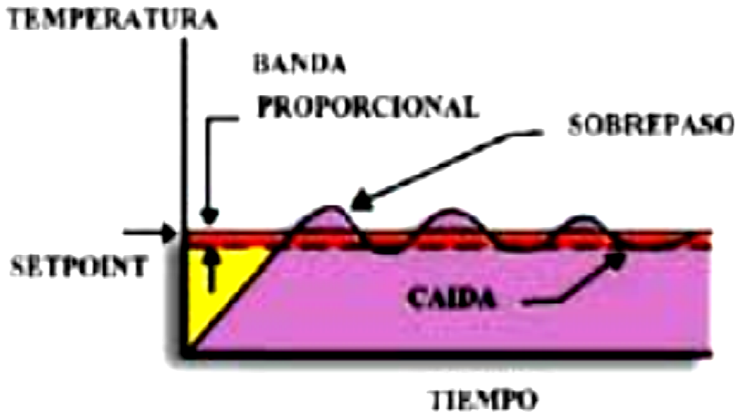


Figura 1.48. Control de temperatura proporcional – derivativo[85]

La función derivativa puede usarse en estos casos para prevenir el exceso de temperatura. La función derivativa anticipa con qué rapidez se llega al setpoint. Hace esto midiendo la velocidad de cambio de la temperatura del proceso y forzando al control a entrar antes en una acción proporcional disminuyendo la velocidad del cambio de la temperatura del proceso. Esto resulta en una temperatura que entra al setpoint en forma suave y así previene un sobrepaso excesivo al inicio del proceso o cuando varía la carga del sistema.

Por lo común, el control más exacto es aquel que es proporcional, tiene control automático y es derivativo. Este tipo de control se conoce como PID (proporcional, Integral, Derivativo).

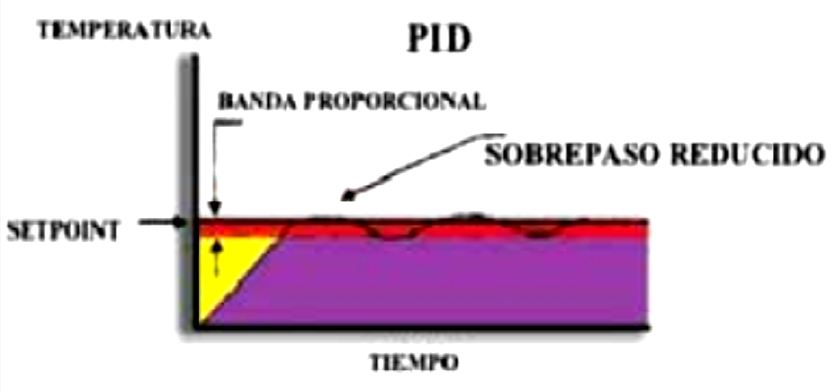


Figura 1.49. Control de temperatura PID[86]

[85] http://www.ingecozs.com/n480d.html
[86] ARNOLDO GALETTO, "*Dispositivos de control de Temperatura",* JM Industrial, México

1.6 Transferencia de calor por conducción en paredes planas.

1.6.1 Conducción[87]

De acuerdo a lo que se observa en la Figura1.50, la conducción es el paso de la energía calorífica a las moléculas adyacentes mediante la transferencia de energía vibratoria o el movimiento de los electrones libres sin que se aprecie un movimiento observable de partículas.

Las temperaturas más altas se asocian con las energías moleculares más altas, y cuando las moléculas vecinas chocan, debe ocurrir una transferencia de energía de las moléculas mas energizadas a las menos energizadas. En presencia de un gradiente de temperatura, la conducción de temperatura debe ocurrir entonces en la dirección de la temperatura decreciente.

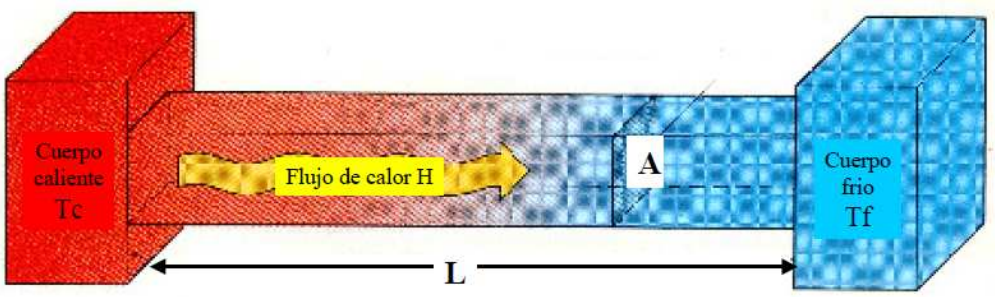


Figura 1.50 transferencia de calor por conducción[88]

1.6.1.1 Conductividad térmica[89]

La conductividad térmica de un material se define como la magnitud que representa la capacidad con la cual la sustancia conduce calor y produce una consiguiente variación de temperatura.

La transferencia unidimensional de calor por conducción se muestra en la Figura 1.51

---

[87] INCROPERA, Frank. "*Fundamentos de Transferencia de Calor"*, Prentice Hall, Cuarta Ed. Pag.2.
[88] http://www2.udec.cl/~jinzunza/fisica/cap14.pdf
[89] http://www2.udec.cl/~jinzunza/fisica/cap14.pdf

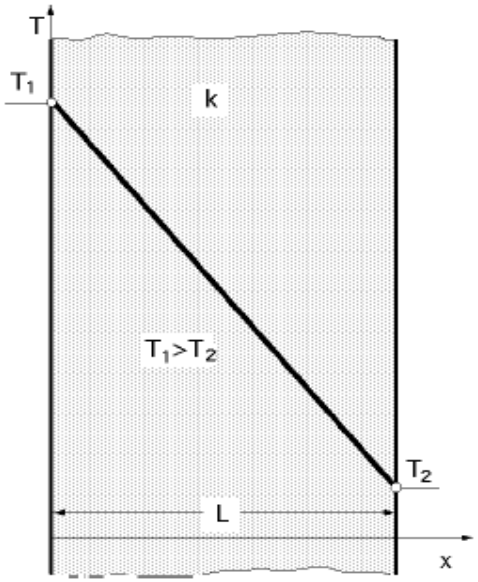


Figura 1.51 Transferencia unidimensional de calor por conducción.[90]

La ley de Fourier para una pared unidimensional se expresa como:

$$q'' = -k * \frac{dx}{dt}$$

(Ec. 1.6-1)

Donde:

q'' Calor transferido por unidad de área, [W/m2].

dt/dx Gradiente de temperatura en la dirección x.

k Coeficiente de transferencia de calor por conducción, [W/m-C].

[90] INCROPERA, Frank. "*Fundamentos de Transferencia de Calor*", Prentice Hall, Cuarta Ed. Pag.2.

1.6.2 Resistencia térmica [91]

La Ec. 1.6-2 propone una analogía entre la difusión eléctrica y la carga eléctrica, de la misma manera que se asocia una resistencia eléctrica con la conducción de electricidad, en similar forma se asocia una resistencia térmica con la conducción de calor, para lo cual para definir la resistencia eléctrica como la diferencia de potencial de transmisión de la transferencia de calor correspondiente se sigue con la Ec. 1.6-2 que es la resistencia térmica para la conducción.

$$Q = \frac{K * A * \Delta T}{L}$$

(Ec. 1.6-2)

Una resistencia térmica también se asocia con la transferencia de calor mediante convección a una superficie, y de la ley de enfriamiento de Newton se tiene:

$$R_{tc} = \frac{1}{h * A}$$

(Ec. 1.6-3)

1.7 Transferencia de calor por convección

1.7.1 Convección[92]

La convección es el mecanismo de transferencia de calor por movimiento de masa o circulación dentro de la sustancia. Puede ser natural producida solo por las diferencias de densidades de la materia; o forzada, cuando la materia es obligada a moverse de un lugar a otro, por ejemplo el aire con un ventilador o el agua con una bomba. Sólo se produce en líquidos y gases donde los átomos y moléculas son libres de moverse en el medio.

[91] INCROPERA, Frank. "*Fundamentos de Transferencia de Calor"*, Prentice Hall, Cuarta Ed. Pág. 76.
[92] http://www2.udec.cl/~jinzunza/fisica/cap14.pdf

La transferencia de calor por convección se expresa con la Ley del Enfriamiento de Newton:

$$q = h * (T_\infty - T_s)$$

(Ec. 1.7-1)

Donde:

q'' Calor transferido por unidad de área, [W/m2].
h Coeficiente de transferencia de calor por convección, [W/m2-ºC].
T_∞ Temperatura ambiente, [ºC]
T_s Temperatura superficial, [ºC]

1.7.2 Cálculo del coeficiente de transferencia de calor por convección[93]

Para realizar el cálculo del coeficiente de transferencia de calor por convección se hace uso de la siguiente ecuación:

$$h_c = \left[\frac{N_u * k}{L_c}\right]$$

(Ec. 1.7-2)

Donde:

Nu Número de Nusselt, adimensional.
Lc Longitud critica, [m]

1.7.3 Convección Libre[94]

En la convección libre, el movimiento del fluido se debe a las fuerzas de empuje dentro de este. El empuje se debe a la presencia combinada de un gradiente de densidad del fluido y de una fuerza de cuerpo que es proporcional a la densidad. En la práctica, la fuerza de cuerpo normalmente es gravitacional.

[93] INCROPERA, Frank. *"Fundamentos de Transferencia de Calor*", Prentice Hall, Cuarta Ed. Pág. 320
[94] INCROPERA, Frank. *"Fundamentos de Transferencia de Calor*", Prentice Hall, Cuarta Ed. Pág. 482

1.7.3.1 Correlaciones Empíricas: Flujos Externos de Convección Libre[95]

Las correlaciones son adecuadas para la mayoría de los cálculos de ingeniería y por lo general son de la forma.

$$\overline{\mathrm{N}}_{\mathrm{uL}} = \frac{\overline{\mathrm{h}}\mathrm{L}}{\mathrm{k}} = C * Ra_L^n$$

(Ec. 1.7-3)

Donde:

Nu	Número de Nusselt, adimensional.
Lc	Longitud critica, [m]
K	Conductividad térmica del aire, [W/m - ºK]
Ra_L^n	Número de Rayleigh

El número de Rayleigh se expresa como:

$$Ra_L^n = Gr_L * P_r = \frac{g * \beta * (T_s - T_\infty) * L^3}{\alpha * \gamma}$$

(Ec. 1.7-4)

Donde:

Gr_L	Número Grashof
P_r	Número de Prandtl
γ	Viscosidad Dinámica
α	Difusividad térmica
T_∞	Temperatura ambiente, [ºK]
T_s	Temperatura superficial, [ºK]
L	Longitud Característica
β	Coeficiente de dilatación Lineal = $\frac{1}{T_f}$ [1/K]
g	Gravedad

[95] INCROPERA, Frank. *"Fundamentos de Transferencia de Calor*", Prentice Hall, Cuarta Ed. Pág. 492

Todas las propiedades del aire son evaluadas a la temperatura de película T_f, y esta se calcula mediante la ecuación siguiente:

$$T_f = \frac{T_\infty + T_S}{2}$$

(Ec. 1.7-5)

1.7.3.2 Placa Vertical[96]

Para la placa vertical Churchil y Chu recomiendan una correlación que se puede aplicar sobre todo el intervalo de Ra_L^n y es de la forma:

$$\overline{\mathrm{N}}_{\mathrm{uL}} = \left\{ 0{,}825 + \frac{0{,}387 * Ra_L^{n\,1/6}}{\left[1 + \left(0.492/Pr\right)^{9/16}\right]^{8/27}} \right\}^2$$

(Ec. 1.7-6)

Donde:

$\overline{\mathrm{N}}_{\mathrm{uL}}$	Número de Nusselt
Ra_L^n	Número de Rayleigh
Pr	Número de Prandtl

[96] INCROPERA, Frank. *"Fundamentos de Transferencia de Calor*", Prentice Hall, Cuarta Ed. Pág. 493

1.7.3.3 Placa Horizontal[97]

Aunque las correlaciones sugeridas por MCAdams se utilizan ampliamente par placas horizontales, se puede obtener una precisión mejorada al alterar la forma de la longitud característica sobre la que se basan las correcciones.

En particular con la longitud característica definida como.

$$L \equiv \frac{A_s}{P}$$

(Ec. 1.7-7)

Donde:

L	Longitud característica
A_s	Área superficial de la placa
P	Perímetro de la placa

Las correlaciones que se recomiendan para el número de Nusselt promedio son:

- Superficie superior de placa caliente o superficie inferior de placa fría.

$$\overline{\mathrm{N}}_{\mathrm{uL}} = 0{,}56 * Ra_L^{1/4} \qquad \left(10^4 \leq R_{a_L} \leq 10^7\right)$$

(Ec. 1.7-8)

$$\overline{\mathrm{N}}_{\mathrm{uL}} = 0{,}15 * Ra_L^{1/3} \qquad \left(10^7 \leq R_{a_L} \leq 10^{11}\right)$$

(Ec. 1.7-9)

- Superficie inferior de placa caliente o superficie superior de placa fría.

$$\overline{\mathrm{N}}_{\mathrm{uL}} = 0{,}27 * Ra_L^{1/4} \qquad \left(10^5 \leq R_{a_L} \leq 10^{10}\right)$$

(Ec. 1.7-10)

[97] INCROPERA, Frank. *"Fundamentos de Transferencia de Calor*", Prentice Hall, Cuarta Ed. Pág. 496

1.7.4 Convección de flujo externo normal a un cilindro de sección no circular[98]

El flujo a través de cilindros y esferas, en general, envuelven una separación del flujo, la cual dificulta su análisis de una manera analítica. Debido a esto, dichos cilindros deben ser estudiados de preferencia de manera experimental o numérica.

En efecto el flujo a través de cilindros y esferas ha sido estudiado experimentalmente por numerosos investigadores, y varias correlaciones han sido desarrolladas para el coeficiente de transferencia de calor.

El complejo patrón del flujo a través de un cilindro influye en el coeficiente de transferencia debido a la variación del número local de Nusselt alrededor de la periferia de un cilindro sujeto al flujo cruzado.

Se pueden obtener correlaciones para el número de Nusselt local al analizar la formación de la capa límite, sin embargo, desde el punto de vista de los cálculos de ingeniería existe mayor interés en las condiciones promedio globales como se indica en la siguiente ecuación:

$$\bar{N}_{uD} \equiv \frac{\bar{h}D}{k} = CRe_D^m Pr^{1/3}$$

(Ec.1.7-11)

Dicha ecuación también es útil para el flujo de aire sobre cilindros de sección transversal no circular, con la longitud característica D y donde las constantes C y m se obtienen de la Tabla 1.2. Al trabajar con la Ec. 1.7-11 todas las propiedades se evalúan a la temperatura de película.

[98] INCROPERA, Frank. *"Fundamentos de Transferencia de Calor*", Prentice Hall, Cuarta Ed. Pág. 369

El número de Reynolds está definido por la siguiente ecuación:

$$Re_D^m = \frac{V * D}{\gamma}$$

(Ec. 1.7-12)

Donde:

V	velocidad del flujo de aire [m/s]
D	longitud característica [m]
γ	viscosidad dinámica [m²/s]

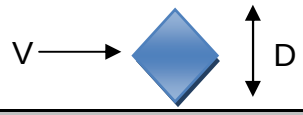
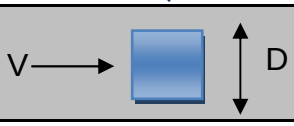
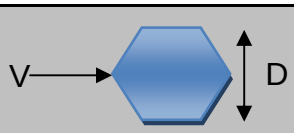
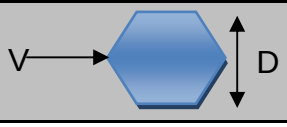
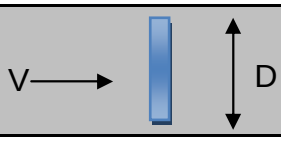
Geometría	C	m
Cuadrado		
	0.246	0.588
	0.102	0.675
Hexágono		
	0.160	0.638
	0.0385	0.782
	0.153	0.638
Placa vertical		
	0.228	0.731

Tabla 1.2 Constantes de la Ec.1.7-11 para cilindros no circulares en flujo cruzado [99]

[99] INCROPERA, Frank. *"Fundamentos de Transferencia de Calor"*, Prentice Hall, Cuarta Ed. Pág. 370

1.8 Transferencia de calor por radiación[100]

La radiación térmica es energía emitida por la materia que se encuentra a una temperatura dada, se produce directamente desde la fuente hacia afuera en todas las direcciones.

Esta energía es producida por los cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas constitutivos y transportada por ondas electromagnéticas o fotones, por lo recibe el nombre de radiación electromagnética.

El coeficiente de transferencia de calor viene expresado por la Ec. 1.8-1

$$h_r = \varepsilon * \sigma * ([T_e + T_a] * [T_e^2 + T_a^2])$$

(Ec. 1.8-1)

Donde:

hr	Coeficiente de transferencia de calor por convección, [W/m2-ºC]
Te	Temperatura exterior del horno, [ºC].
Ta	Temperatura ambiente, [ºC].
ε	Emisividad del recubrimiento exterior a temperatura exterior.
σ	Constante de Stefan Boltzman, [W/m2-ºC].

Hay muchas aplicaciones para las que es conveniente expresar el intercambio neto de calor por radiación en la forma

$$q_r = \varepsilon * \sigma * A * [T_e^4 - T_a^4]$$

(Ec. 1.8-2)

[100] INCROPERA, Frank, *"Fundamentos de Transferencia de Calor"*, Prentice Hall, Cuarta Ed. Pág. 8

Donde:

Te	Temperatura exterior del horno, [ºC].
Ta	Temperatura ambiente, [ºC].
ε	Emisividad del recubrimiento exterior a temperatura exterior.
σ	Constante de Stefan Boltzman, [W/m2-ºC].
A	Área efectiva de transferencia calor.

1.9 Transferencia de calor en estado transitorio: Método de la Resistencia Interna Despreciable[101]

Si se altera la temperatura superficial de un sistema, la temperatura en cada punto del sistema también comenzará a cambiar. Los cambios continuaran ocurriendo hasta que alcance una distribución de temperaturas de estado estable. Considere un lingote de metal caliente que se saca de un horno y se expone a un flujo de aire frio. Se transfiere energía por convección y radiación desde la superficie a los alrededores. Sin embargo, en condiciones en que los gradientes de temperatura dentro del solido son pequeños, se utiliza un método más sencillo, denominado resistencia interna despreciable.

La esencia de este método es la suposición de que la temperatura del solido es especialmente uniforme en cualquier instante durante el proceso transitorio e implica que los gradientes de temperatura dentro del solido son insignificantes.

Al no tomar en cuenta los gradientes de temperatura dentro del solido la respuesta transitoria se determina realizando un balance global de energía en el sólido mediante la siguiente ecuación:

$$-\dot{E}_{sale} = \dot{E}_{alm}$$

(Ec. 1.9-1)

[101] INCROPERA, Frank. *"Fundamentos de Transferencia de Calor"*, Prentice Hall, Cuarta Ed. Pág. 212, 213

Suponiendo que la perdida de energía es debido a un intercambio de calor por convección obtendríamos la siguiente ecuación:

$$-h * A_s * (T - T_\infty) = \rho * V * C_p * \frac{dT}{dt}$$

(Ec. 1.9-2)

Al introducir la diferencia de temperaturas:

$$\theta \equiv T - T_\infty$$

(Ec. 1.9-3)

Dado que: $\frac{d\theta}{dt} = \frac{dT}{dt}$, se tiene:

$$\frac{\rho * V * C_p}{h * A_s} * \frac{d\theta}{dt} = -\theta$$

(Ec. 1.9-4)

Separando variables e integrando desde la condición inicial, para la que t= 0 y $T(0)= T_i$, entonces

$$\frac{\rho * V * C_p}{h * A_s} \int_{\theta_i}^{\theta} \frac{d\theta}{\theta} *= -\int_0^t dt$$

(Ec. 1.9-5)

Donde

$$\theta_i \equiv T_i - T_\infty$$

(Ec. 1.9-6)

Al evaluar las integrales y reemplazando las ecuaciones 1.9-3 y 1.9-6 se obtiene:

$$t = \frac{\rho * V * C_p}{h * A_s} * \ln \frac{T_i - T_\infty}{T - T_\infty}$$

(Ec. 1.9-7)

1.10 Diseño de elementos mecánicos sometidos a esfuerzos de tracción, compresión y flexión

Debido a que la prensa que se va a diseñar no se encuentra sometida a cargas repetitivas dentro de un periodo de trabajo, entonces, el análisis de diseño de sus componentes se lo puede realizar únicamente bajo un criterio estático.

1.10.1 Esfuerzos principales [102]

El esfuerzo se define como una fuerza por unidad de área, con unidades en psi o MPa. Cada elemento infinitesimal en el material puede experimentar esfuerzos distintos al mismo tiempo, por lo que debemos considerar los esfuerzos como actuando sobre estos.

Dichos elementos generales suelen modelarse cada uno como un cubo, como se observa en la Figura 1.53. Las componentes de los esfuerzos actúan en las caras de estos cubos de dos maneras distintas mostradas en la Figura 1.54 y que son:

- *Los esfuerzos normales,* los cuales actúan de manera perpendicular a la cara del cubo y tienen tendencia ya sea a tirar de él (tracción), o a empujarlo (compresión).
- Los *esfuerzos cortantes,* que actúan paralelos a las caras de los cubos, en pares sobre las caras opuestas.

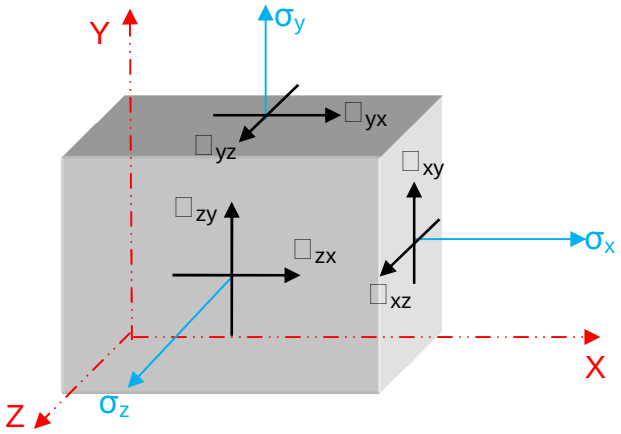


Figura 1.53. Elemento general sometido a esfuerzos triaxiales.

[102] http://lim.ii.udc.es/docencia/din-sismec/circulos.pdf

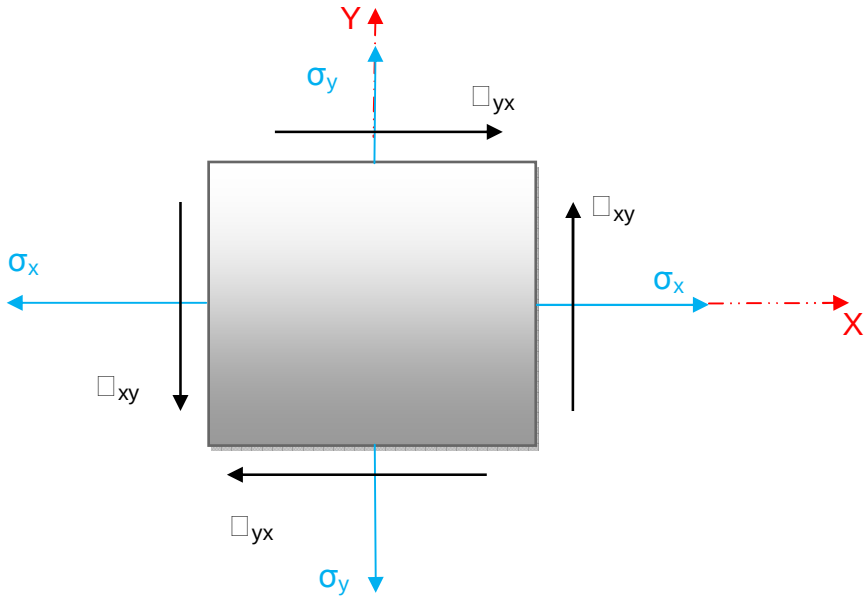


Figura 1.54. Elemento general sometido a esfuerzos biaxiales.

1.10.2 Circulo de Mohr.

El círculo de Mohr sirve para determinar en base a los esfuerzos ordinarios los esfuerzos principales que son los que nos interesan para el diseño según el esquema de la Figura 1.55.

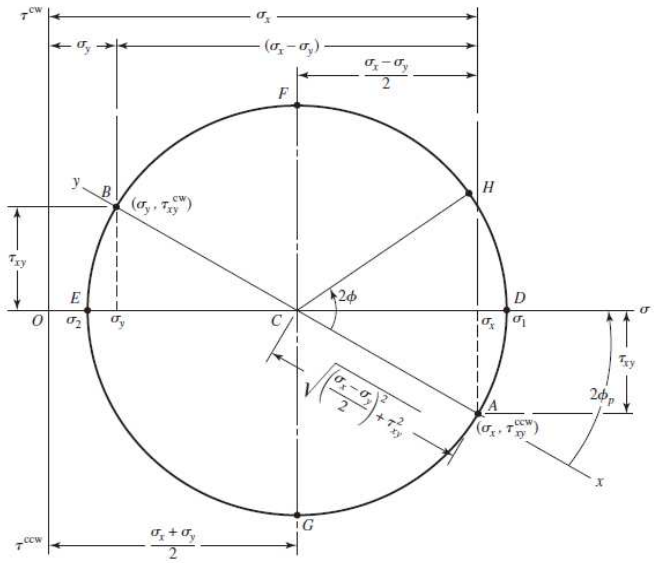


Figura 1.55. Representación del Círculo de Mohr.[103]

[103] SHIGLEY, Joseph, "*Manual de Diseño Mecánico*", McGraw-Hill, Octava Ed. Pág.76.

Del circulo de Mohr se definen las siguientes formulas.

$$\sigma_{A,}\sigma_B = \left(\frac{\sigma_x + \sigma_y}{2}\right) \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + T_{xy}^2}$$

(Ec. 1.10-1)

$$2\emptyset = tan^{-1}\left(\frac{T_{xy}}{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)}\right)$$

(Ec. 1.10-2)

$$2\beta = 90 - 2\emptyset$$

(Ec. 1.10-3)

$$T_1, T_2 = \pm\sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + T_{xy}^2}$$

(Ec. 1.10-4)

Donde:

σ_A	Esfuerzo principal mayor
σ_B	Esfuerzo principal menor.
σ_x	Esfuerzo principal menor
σ_y	Esfuerzo principal menor
T_{xy}	Esfuerzo principal menor

1.10.3 Teorías de falla para materiales dúctiles sometidos a cargas estáticas

El diseño estático de los materiales dúctiles cuenta con tres teorías: del esfuerzo normal máximo, del esfuerzo cortante máximo y de la energía de la distorsión.

La teoría del esfuerzo normal máximo equivale a la del esfuerzo cortante máximo en el primero y tercer cuadrantes; sin embargo, la gráfica que corresponde a la teoría del esfuerzo normal máximo queda fuera de la elipse de energía de distorsión en el segundo y cuarto (ver Figura 1.56). De modo que sería muy peligroso utilizar la

teoría del esfuerzo normal máximo, ya que podría predecir condiciones de seguridad que en realidad no existen.

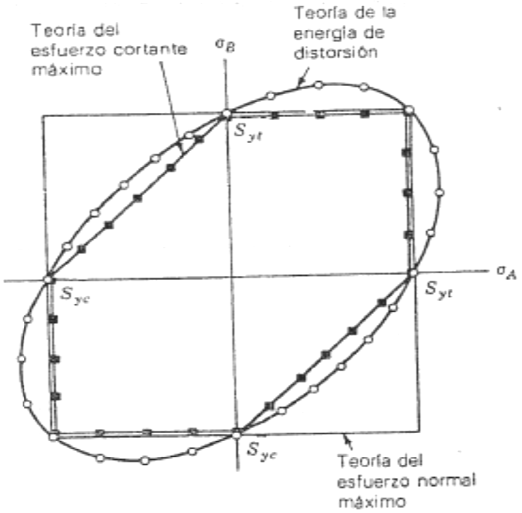


Figura 1.56. Comparación de las tres teorías de falla estática para materiales dúctiles y esfuerzos biaxiales[104]

Es así que para realizar un diseño con mayor precisión se realiza el análisis mediante la teoría de la energía de distorsión, la cual predice con mayor eficacia la falla manteniendo un margen de seguridad dentro de límites cercanos.

1.10.3.1 Teoría de la energía de distorsión

Tomando en cuenta que los esfuerzos son biaxiales entonces cualquiera de los esfuerzos principales σ_1, σ_2, σ_3 es igual a cero. Sea entonces σ_A el mayor de los dos esfuerzos distintos de cero y σ_B el menor, de donde se tiene la siguiente ecuación y el diagrama de la Figura1.57:

(Ec. 1.10-5)

[104] SHIGLEY, Joseph, "*Manual de Diseño Mecánico*", McGraw-Hill, Cuarta Ed. Pág. 250

Donde:

S_y	Resistencia a la fluencia
σ_A	Esfuerzo principal mayor
σ_B	Esfuerzo principal menor

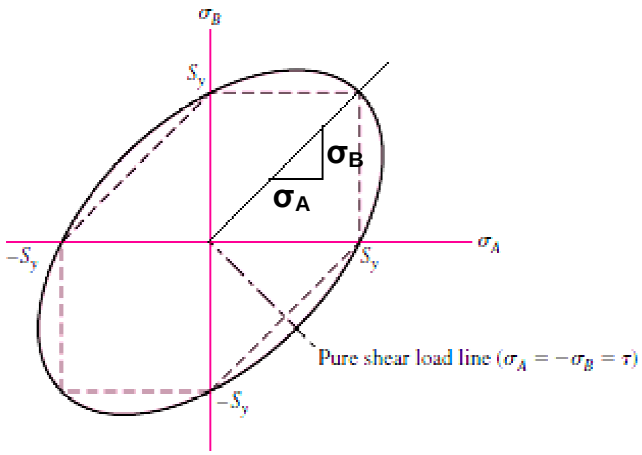


Figura 1.57. Diagrama de falla según la teoría de energía de distorsión[105]

Para un material dúctil cuya resistencia a la fluencia es S_y y tiene por esfuerzos principales σ_1 y σ_2 se tiene el diagrama de la Figura 1.58:

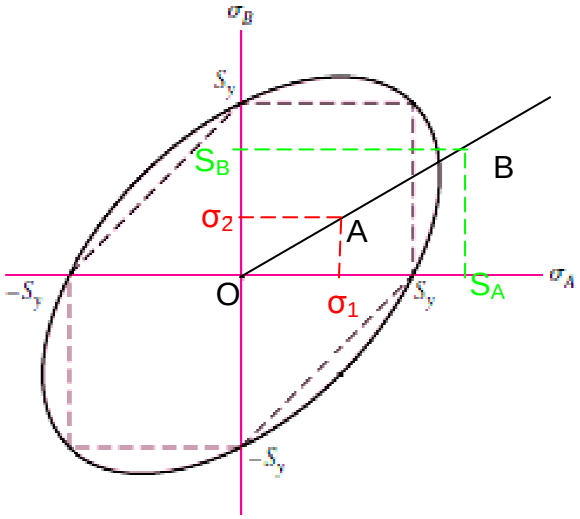


Figura 1.58. Esquema de la teoría de distorsión para análisis del factor de seguridad

[105] SHIGLEY, Joseph. "*Manual de Diseño Mecánico*", McGraw-Hill, Octava Ed. Pág.219.

De la Fig 1.58 se puede determinar la ecuación siguiente:

$$n = \frac{OB}{OA} = \frac{S_A}{\sigma_1} = \frac{S_B}{\sigma_2}$$

(Ec. 1.10-6)

De donde:

$$S_B = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} S_A$$

(Ec. 1.10-7)

Tomando en cuenta las ecuaciones Ec. 1.10-5 y la Ec. 1.10-7, se puede determinar el valor de S_A mediante la siguiente ecuación:

$$S_A = \frac{S_y}{\sqrt{1 - \left(\frac{\sigma_2}{\sigma_1}\right) + \left(\frac{\sigma_2}{\sigma_1}\right)^2}}$$

(Ec. 1.10-8)

Si se reemplaza el valor de la Ec. 1.10-8 en la Ec. 1.10-6 se puede determinar el factor de seguridad del diseño.

1.10.4 Diagramas de Fuerza Cortante y Momento Flector [106]

El análisis de fuerza cortante y momento flector es requerido para determinar las zonas de mayor esfuerzo en un determinado material.

1.10.4.1 Fuerza Cortante

Es la suma algebraica de todas las fuerzas externas perpendiculares al eje de la viga (o elemento estructural) que actúan a un lado de la sección considerada.
La fuerza cortante es positiva cuando la parte situada a la izquierda de la sección tiende a subir con respecto a la parte derecha como se muestra en la Figura 1.59.

106 http://ws01.ula.ve/ingenieria/nayive/mecanica_r10/TemaVI_archivos/Fuerza_V_momento_Flector.pdf

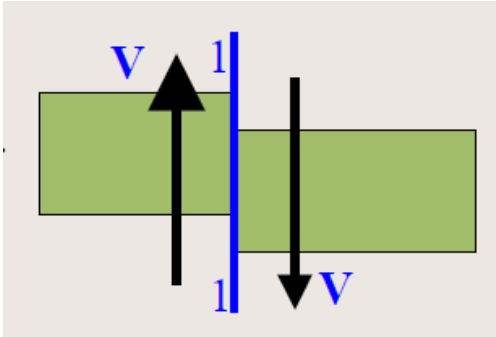


Figura 1.59. Elemento sometido a una fuerza cortante.

1.10.4.2 Momento Flector (M)

Es la suma algebraica de los momentos producidos por todas las fuerzas externas a un mismo lado de la sección respecto a un punto de dicha sección.

El momento flector es positivo cuando considerada la sección a la izquierda tiene una rotación en sentido horario como se muestra en la Figura 1.60.

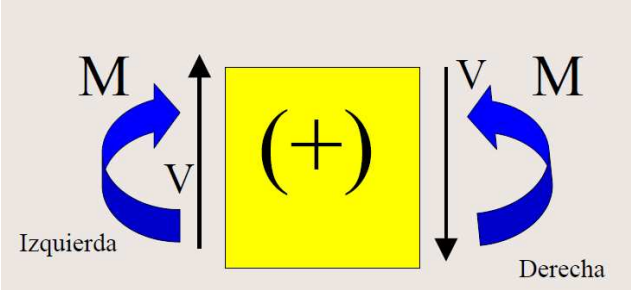


Figura 1.60. Convenio de signos para momento flector y fuerza cortante.

1.10.4.3 Relaciones entre la carga, fuerza cortante y momento flector[107]

La construcción del diagrama de fuerza cortante y especialmente del momento flector (Ver Figura 1.61), se facilita si se tienen en cuenta las relaciones que existen entre carga, fuerza cortante y momento flector.

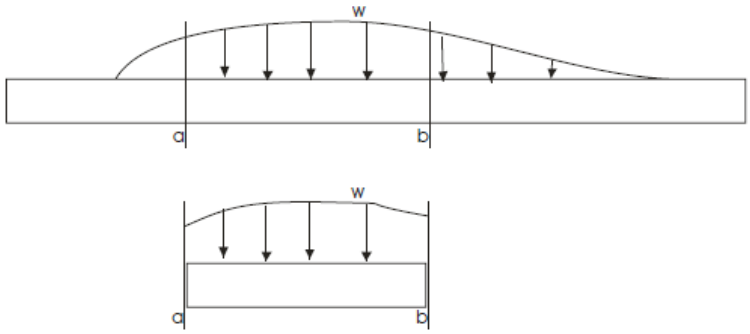


Figura 1.61. Relaciones entre la carga, fuerza cortante y momento flector

La relación existente entre la carga y la fuerza cortante es que la pendiente del DFC es igual al valor de la carga y la diferencia de la fuerza cortante entre dos puntos es igual al área de la carga entre dichos puntos. Asimismo la relación entre la fuerza cortante y el momento flector es que la pendiente del DMF es igual al valor de V, mientras que la diferencia entre dos puntos del momento flector es igual al área del DFC entre dichos puntos.

$$\frac{dV}{dx} = w$$

(Ec. 1.10-9)

$$V_b - V_a = Area\ de\ carga\ entre\ a\ y\ b$$

(Ec. 1.10-10)

$$\frac{dM}{dx} = V$$

(Ec. 1.10-11)

$$M_b - M_a = Area\ de\ DFC\ entre\ a\ y\ b$$

(Ec. 1.10-12)

[107] Singer, F. y Pytel, A. "*Resistencia de materiales"*. México, D.F., 1982
Beer, F. y Johnston, E., "*Mecánica de materiales*". McGraw-Hill, Interamericana, S.A., 1993

1.10.5 Análisis de una viga sometida a flexión

Para el diseño de la prensa se tomara en cuenta que su comportamiento es semejante al de una viga sometida a flexión debido a la disposición del equipo durante el proceso de pegado como se muestra en la Figura 1.62.

En el caso ideal, la banda cubriría todo el ancho de trabajo de la prensa permitiendo que la distribución de la carga sea uniforme a lo largo de toda la junta. En cambio, mientras menos ancha sea la banda, mayores serán los esfuerzos a los cuales será sometida la prensa, más específicamente, la placa calefactora (ver figura 1.27).

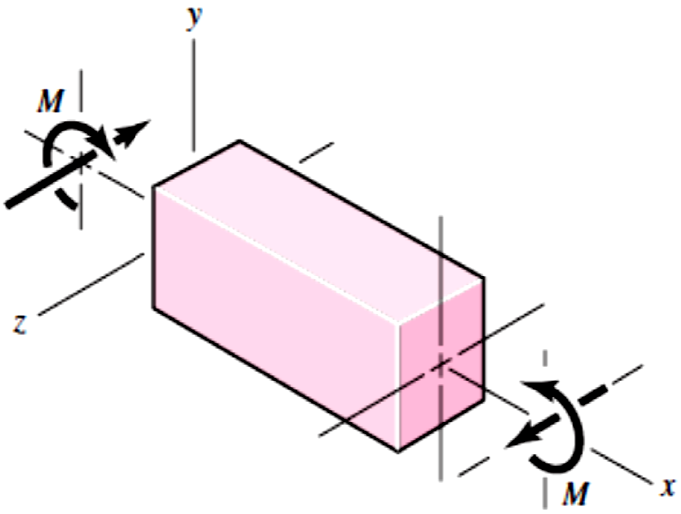


Figura 1.62. Esquema de una viga sometida a flexión[108]

Para facilitar el análisis se toma en cuenta que los esfuerzos a los cuales se encuentra sometida la placa calefactora superior son idénticos a los de la placa calefactora inferior, además, se asume que los efectos causados por dichos esfuerzos son iguales en cualquier sección transversal de la placa.

[108] SHIGLEY, Joseph. "*Manual de Diseño Mecánico*", McGraw-Hill, Octava Ed. Pág.95

Para el análisis se toma en cuenta la placa calefactora superior y las fuerzas a las que se encuentra sometida así como también la reacción que ejerce la banda al ser comprimida, tal como se indica en la Figura 1.63.:

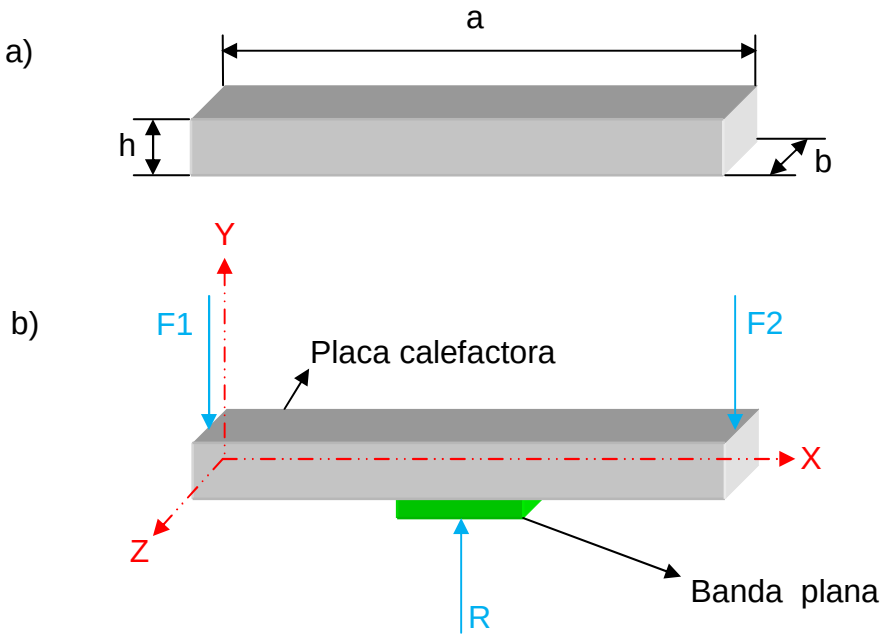


Figura 1.63. a) Dimensiones de la placa, b) Diagrama de la placa calefactora superior y las fuerzas que actúan sobre ella.

Como se explicó anteriormente se asume que el efecto ocasionado por la acción de las fuerzas indicadas en la figura anterior son los mismos en cualquier sección transversal, con lo cual, se puede graficar el DCL de la placa paralelo a los ejes X e Y y su respectiva sección, como se muestra en la Figura 1.64:

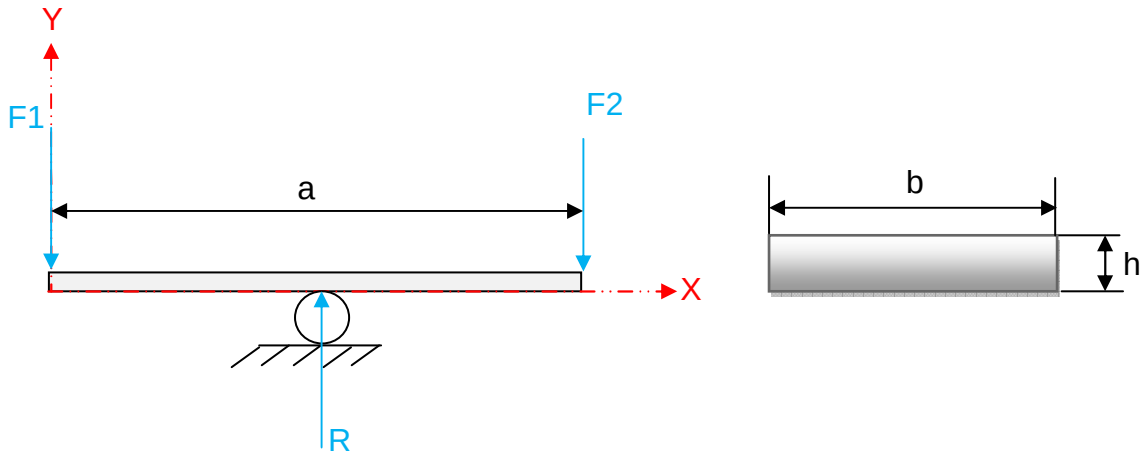


Figura 1.64. DCL de placa calefactora superior de Espesor “h”, Largo “a” y Ancho “b”

A partir de la figura anterior se pueden obtener los diagramas de cortante y momento flector como se muestra en la Figura 1.65.

Diagrama de cortante

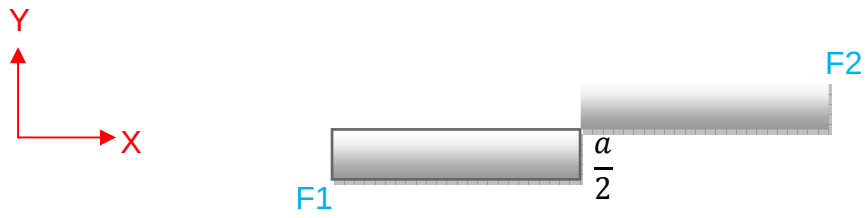


Diagrama de momento flector

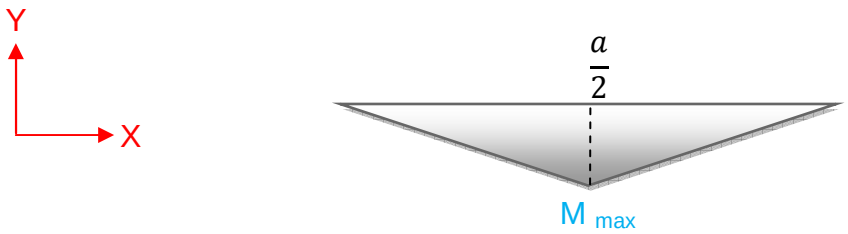


Figura 1.65. Diagrama de Fuerza Cortante y Momento Flector de la placa.

Para determinar el esfuerzo máximo actuante sobre la placa es necesario conocer el valor del momento flector máximo, con lo cual el esfuerzo máximo quedaría expresado según la siguiente fórmula:

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}\, C}{I}$$

(Ec.1.10-13)

Donde:

M_{max} momento flector máximo

C distancia al punto medio de la sección desde el eje “x”

I momento de inercia de la sección

Por lo tanto:

$$\sigma_{max} = \frac{6 * M_{max}}{bh^2}$$

(Ec. 1.10-14)

Donde:

b ancho de la placa calefactora

h espesor de la placa calefactora

Una vez analizado el esfuerzo máximo, a éste se lo puede comparar con el esfuerzo admisible que es propio del tipo del material que se use. El resultado de esta comparación y en concordancia con la teoría de la energía de la distorsión, proporciona el factor de seguridad del diseño y se calcula según la siguiente ecuación:

$$\eta = \frac{S_y}{\sigma_{Max}}$$

(Ec. 1.10-15)

CAPÍTULO 2

DISEÑO DE LA PRENSA

2.1 Análisis del Sistema Térmico

La prensa calefactora dentro de su funcionamiento consta de dos etapas: Calentamiento y Enfriamiento, las cuales son necesarias para completar el ciclo de pegado de una banda. A continuación se realiza el análisis de cada una de ellas.

2.1.1 Etapa de Calentamiento

En la etapa de calentamiento la prensa calefactora debe alcanzar una temperatura de 100 ºC a nivel del mar (80 ºC en Quito aprox.), para esto es necesario el uso de una niquelina como la que se observa en la Figura 2.1 y cuyos datos técnicos se encuentran en el Anexo A.

Dicha niquelina es capaz de elevar la temperatura de la placa calefactora hasta el valor requerido para realizar el pegado de la banda en un tiempo determinado.
Para calcular el tiempo de calentamiento se debe realizar un análisis de transferencia de calor en estado transitorio tomando como base fundamental de cálculo la “Ley de la conservación de la Energía”.

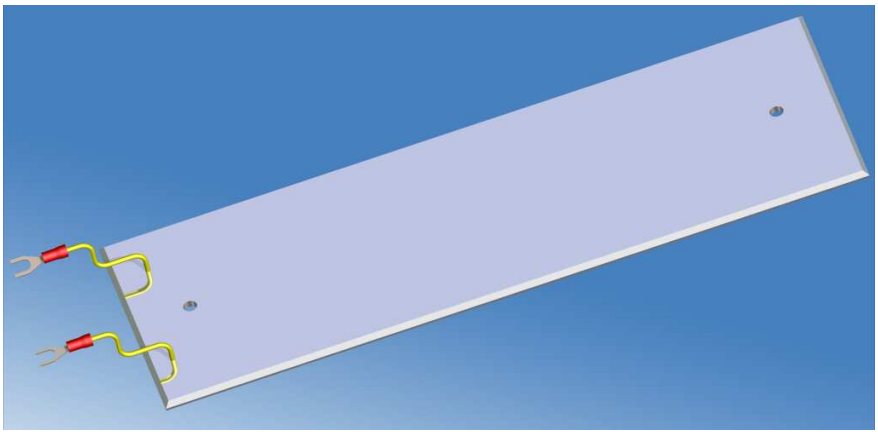


Figura 2.1 Niquelina Plana

Para realizar el cálculo se ha tomado en cuenta la placa calefactora superior (ver Figura 1.27) cuyas propiedades mecánicas se encuentran detalladas en la Tabla 2.1

Detalle	Placa Calefactora superior	Placa Calefactora Inferior
Dimensiones		
Largo (L) [mm]	350	350
Ancho (W) [mm]	200	250
Espesor (H) [mm]	20	20
Propiedades Físicas		
Material	Aluminio	Aluminio
Resistencia Mecánica (Sy) [Mpa]	490.33	490.33
Densidad (ρ) [Kg/m³]	2702	2702
Calor Especifico (Cp) [J/Kg*K]	903	903
Conductividad (k) [W/m*K]	237	237

Tabla 2.1 Propiedades Físicas de las Placas Calefactoras[109]

Para empezar el análisis se realiza el balance de energía en la placa calefactora, tomando en cuenta que además la energía transmitida por la niquelina, existen perdidas a causa de la convección y radiación que existe hacia el medio ambiente tanto en la placa como en la niquelina como se muestra en la Figura 2.2

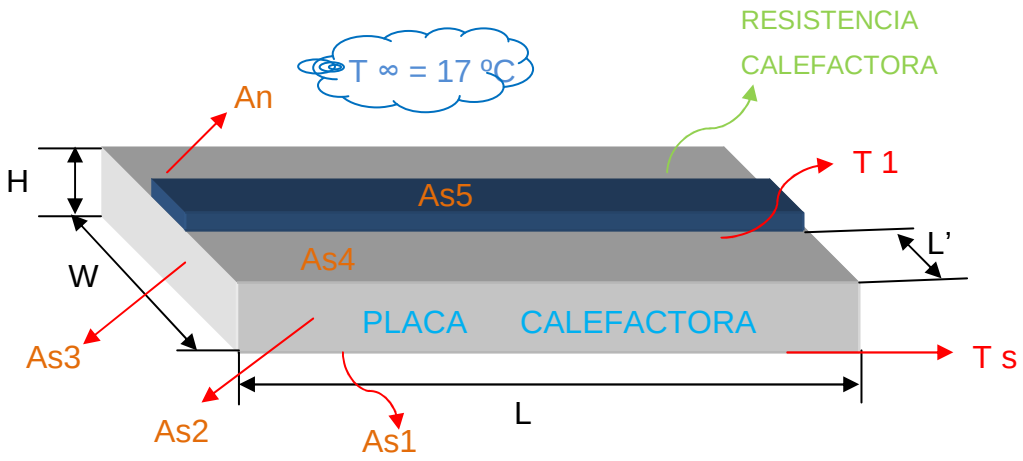


Figura 2.2 Esquema Térmico de la Placa Calefactora

[109] INCROPERA, Frank. *"Fundamentos de Transferencia de Calor"*, Prentice Hall, 4 Ed. Pág. 827

Entonces, el análisis empieza por plantear la ecuación de balance de energías y se tiene:

$$E_{entra} + E_{generada} - E_{sale} = E_{almacenamiento}$$

(Ec. 2.1-1)

De aquí definimos cada una de las energías actuantes en el balance, entonces se obtiene:

$$E_{\ entra} = q_{cond} = \frac{K * A_n * \Delta T}{H}$$

(Ec. 2.1-2)

$$E_{sale} = q_{conv} + q_{rad}$$

(Ec. 2.1-3)

$$E_{generada} = E_{aporte\ niquelina} - q_{conv\ niquelina} - q_{rad\ niquelina}$$

(Ec. 2.1-4)

$$E_{almacenamiento} = \frac{\rho C_p V \Delta T}{\Delta t}$$

(Ec. 2.1-5)

A continuación se detalla el cálculo de los términos de las ecuaciones antes planteadas y en concordancia con la teoría presentada en el Capítulo 1.

- *Condiciones de Temperatura*

Temperatura ambiente (T_∞) = 290 [K]
Intervalo de temperatura (ΔT) = 0.3 [K]
Temperatura superficial (Ts) = 373 [K]
Temperatura de película (T_f) = 331.5 [K]
Coeficiente de dilatación lineal (β) = 0.00302 [1/K]

- *Propiedades del aire @ T_f*[110]

  γ = 1.59E-05 [m²/s]
  α = 2.25E-05 [m²/s]
  k = 2.63E-02 [W/m*K]
  Pr = 0.707

- *Propiedades físicas de la placa*[111]

  ρ = 2702 [kg/m³]
  V = 0.0014 [m³]
  Cp = 903 [J/kg*K]
  k = 237 [W/m*K]

- *Cálculo de Longitudes características*[112]

  En base a la ecuación Ec. 1.7-7 se puede calcular la longitud característica de la placa y de la niquelina y se obtiene:

  $L_{Cniquelina}$ = 0.0375 [m]
  L_{C1} = 0.064 [m]
  L_{C4} = 0.0219 [m]

- *Cálculo de las áreas que intervienen*[113]

  An = 0.1 x 0.3 = 0.03 [m²]
  As1 = L x W = 0.07 [m²]
  As2 = L x H = 0.007 [m²]
  As3 = W x H = 0.004 [m²]
  As4 = 2 x L x L' = 0.035 [m²]
  As5 = $L_{niquelina}$ x $W_{niquelina}$ =0.03 [m²]

[110] INCROPERA, Frank. *"Fundamentos de Transferencia de Calor"*, Prentice Hall, 4 Ed. Pág. 839
[111] Ver Tabla 2.1
[112] Ver ANEXO A para conocer las dimensiones de la niquelina
[113] Ver Figura 2.2

- *Cálculo del número de Rayleigh*

  En base a la ecuación Ec. 1.7-4 se puede calcular el número de Rayleigh y se obtiene:

  Ra_{L1}^{n} = 1.77 E+06
  Ra_{L2}^{n} = 5.49 E+06
  Ra_{L3}^{n} = 5.49 E+06
  Ra_{L4}^{n} = 7.18 E+06
  Ra_{L5}^{n} = 8.00 E+05

- *Cálculo del número de Nusselt*

  En base a la ecuación Ec. 1.7-8 se puede calcular el número de Nusselt para placas planas horizontal, y se obtiene:

  $\overline{\mathrm{N}}_{\mathrm{uL1}}$ = 19.6925
  $\overline{\mathrm{N}}_{\mathrm{uL4}}$ = 8.8406
  $\overline{\mathrm{N}}_{\mathrm{uL5}}$ = 1.62 E+01

  En base a la ecuación Ec. 1.7-6 se puede calcular el número de Nusselt para placas planas vertical, y se obtiene:

  $\overline{\mathrm{N}}_{\mathrm{uL2}}$ = 7,9774
  $\overline{\mathrm{N}}_{\mathrm{uL3}}$ = 7,9774

- *Cálculo del coeficiente de convección "h"*

  En base a la ecuación Ec. 1.7-3 se puede calcular el coeficiente de convección h y se obtiene:

  $h_{c\,1}$ = 8.1386 [W/m² K]
  $h_{c\,2}$ = 10.49 [W/m² K]
  $h_{c\,3}$ = 10.49 [W/m² K]
  $h_{c\,4}$ = 10.629 [W/m² K]
  $h_{c\,5}$ = 11.34 [W/m² K]

- *Cálculo del calor de convección.*

  En base a la ecuación Ec. 1.7-1 se puede calcular el calor de convección y se obtiene:

  q_{conv1} = 47.29 [W]
  q_{conv2} = 6.09 [W]
  q_{conv3} = 3.48 [W]
  q_{conv4} = 30.88 [W]
  q_{conv5} = 75.84 [W]

- *Cálculo del calor de conducción.*

  En base a la ecuación Ec. 1.6-2 se puede calcular el calor de conducción y se obtiene:

  q_{cond} = 142.200 [W]

- *Cálculo del calor de radiación.*

  En base a la ecuación (Ec. 1.8-2) se puede calcular el calor de radiación y se obtiene:

  $q_{rad\ placa}$ = 91.94 [W]

  $q_{rad\ A5}$= 105.77 [W]

- *Cálculo del tiempo de calentamiento de la placa*

  Para realizar el análisis del tiempo de calentamiento de la placa primero se debe evaluar las pérdidas que se presentan en la energía generada por la niquelina, entonces se tiene:

$$q_{generado} = q_{niquelina} - q_{rad\ A5} - q_{conv\ 5}$$

$$E_{generada} = 568.38\ [W]$$

  Ahora analizamos el calor que ingresa al sistema, y se tiene:

$$q_{entra} = q_{cond}$$

$$E_{entra} = 142.2\ [W]$$

  A continuación se analiza el calor que sale del sistema en forma de perdidas por convección y radiación

$$E_{sale} = q_{conv\ 1} + 2 * q_{conv\ 2} + 2 * q_{conv\ 3} + 2 * q_{conv\ 4} + q_{radplaca}$$

$$E_{sale} = 220.13\ [W]$$

Realizando el balance de energías según la Ec. 2.1-1, se obtiene:

$$E_{entra} + E_{generada} - E_{sale} = E_{almacenamiento}$$

Reemplazando la Energía de almacenamiento según la Ec. 2.1-5 y despejando el tiempo, se obtiene:

$$\Delta t = \frac{\rho \times V \times C_p \times \Delta T}{E_{generada} + E_{entra} - E_{sale}}$$

Reemplazando los valores obtenidos en el desarrollo de cálculo de las energías que actúan en el sistema se obtiene el tiempo aproximado de calentamiento y es:

$$\Delta t = 623.253 \text{ [seg]}$$

ó

$$\Delta t = 10.38 \text{ [min]}$$

2.1.2 Etapa de Enfriamiento

Una vez que la prensa haya alcanzado su temperatura optima de funcionamiento, el aporte de calor dado por la niquelina se detendrá, dando inicio a la etapa de enfriamiento, la cual consiste en la activación de ventiladores (ver Anexo B) situados sobre la placa calefactora que proporcionan un flujo de aire con el objetivo de reducir la temperatura de la placa, y con esto finalizar el proceso de pegado de la banda y facilitar la manipulación del equipo.

En particular para poder desarrollar un modelo más preciso se tuvo que reevaluar las variables que intervenían en cálculos anteriores cuyos valores reflejaban resultados erróneos, tal es el caso de la temperatura ambiental, la cual después de varias pruebas se pudo determinar que es el factor que presenta una mayor influencia en el sistema y en el proceso de enfriamiento como tal. Este valor de temperatura se lo pudo obtener experimentalmente midiéndolo en el espacio

confinado dentro del marco de la prensa, ya que en este volumen se ha creado un ambiente cuya temperatura es superior a la del medio externo debido al proceso de calentamiento previo.

A continuación se detalla el cálculo de los términos de las ecuaciones planteadas en concordancia con la teoría presentada en el Capítulo 1.

- *Condiciones de Temperatura*

Temperatura ambiente (T_∞)	=	319 [K]
Temperatura inicial del proceso de enfriamiento (T_o)	=	361 [K]
Temperatura de película (T_f)	=	340 [K]
Temperatura final del proceso de enfriamiento (T)	=	323 [K]
Coeficiente de dilatación lineal (β)	=	0.00294 [1/K]

- *Propiedades del aire @ T_f*[114]

γ = 1.59E-05 [m²/s]
α = 2.25E-05 [m²/s]
k = 2.63E-02 [W/m*K]
Pr = 0.707

- *Propiedades físicas de la placa*[115]

ρ = 2702 [kg/m³]
V = 0.0014 [m³]
Cp = 903 [J/kg*K]
k = 237 [W/m*K]

[114] INCROPERA, Frank. *"Fundamentos de Transferencia de Calor"*, Prentice Hall, 4 Ed. Pág. 839
[115] Ver Tabla 2.1

- *Cálculo de las áreas que intervienen*[116]

  $As_{niquelina}$ = $L_{niquelina}$ x $W_{niquelina}$ = 0.03 [m²]

- *Cálculo del número de Rayleigh*

  En base a la ecuación Ec. 1.7-4 se puede calcular el número de Rayleigh y se obtiene:

  $Ra^{n}_{L\ niquelina}$ = 2.71E+04

- *Cálculo del número de Reynolds*

  En base a la ecuación Ec. 1.7-12 se puede calcular el número de Reynolds teniendo en cuenta que la velocidad del aire se puede calcular a partir del flujo aportado por los ventiladores (Ver Anexo B), y se obtiene:

  V_{aire} = 4.6829 [m/s]
  Re^{m}_{D} = 1.03E+05

- *Cálculo del número de Nusselt*

  En base a la Tabla 1.2 se obtiene que:

  C = 2.28E-01
  m = 0.731

  Reemplazando estos valores en la ecuación Ec. 1.7-11 se puede calcular el número de Nusselt para placa plana con flujo de aire externo, y se obtiene:

  $\overline{N}_{uL\ niquelina}$ = 938.8131

[116] Ver Figura 2.2

- *Cálculo del coeficiente de convección "h"*

  En base a la ecuación Ec. 1.7-3 se puede calcular el coeficiente de convección h y se obtiene:

  $h_{c\ niquelina}$ = 70.5451 [W/m² K]

- *Cálculo del tiempo de enfriamiento de la placa*

Para determinar el tiempo de enfriamiento de la placa se lo procede a calcular en base a la ecuación Ec. 1.9-7 y se obtiene:

$$t = \frac{\rho V Cp}{\left(h_{conv\ forzada} *\ A_{niquelina}\right)} * Ln\left|\frac{T - T_{\infty}}{T_o - T_{\infty}}\right|$$

Reemplazando los valores obtenidos en el desarrollo de cálculo de la etapa de enfriamiento, se obtiene el tiempo aproximado de enfriamiento y es:

Δt= 3473.6380 [seg]

ó

Δt= 57.8939 [min]

2.2 Análisis del Sistema Estructural

Dentro del sistema estructural de la prensa, la parte más crítica es la placa calefactora la que además de ser un medio de transferencia de calor eficiente deber ser también lo suficientemente resistente como para soportar los esfuerzos a los cuales será sometida al momento de prensar la banda.

Fundamentalmente la dimensión que más interesa de la placa es su espesor.

De acuerdo con lo anterior, para el diseño de dicha placa se la considerara como una viga de sección transversal rectangular uniforme y se procederá a analizar los esfuerzos a los cuales se encuentra sometida en base a la teoría presentada en el Capítulo 1.

2.2.1 Análisis de la placa calefactora superior sometida a flexión.

Como ya se indico, la placa calefactora será tratada como una viga simple y de sección transversal uniforme como se muestra en la Figura 2.3.

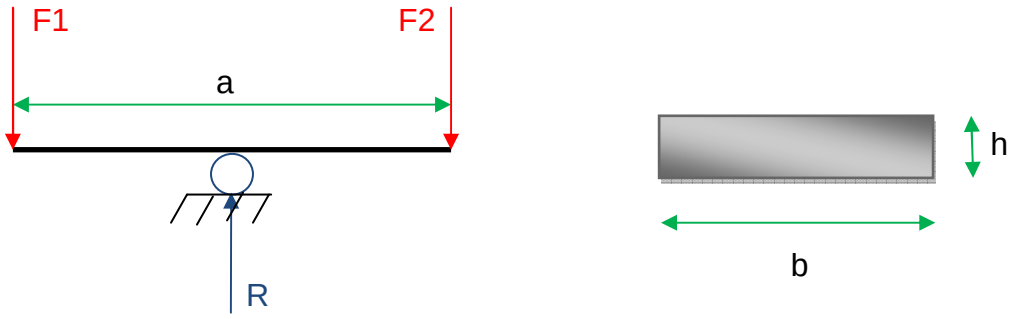


Figura 2.3 Esquema de la placa calefactora tratada como viga

Las fuerzas F1 y F2 de igual magnitud son aplicadas mediante el ajuste de los pernos de sujeción ubicados en los extremos y al centro de la placa. Su apriete se lo realiza mediante un torquímetro de forma manual.

La reacción R viene dada por la oposición que presenta la banda al ajuste. Dicha reacción está relacionada con la presión requerida para el correcto pegado de la banda, ésta presión depende del tipo de banda a usar y está determinada por el fabricante de la misma. En general y según datos del fabricante, la mayoría de bandas de transmisión de potencia requiere de 2 bar. de presión a lo largo de la junta para su correcta unión.

En el Anexo C se tienen distintos tipos de bandas así como la presión, temperatura, y tipo de adhesivo que requieren en el proceso de pegado.

Ya que la prensa será de uso para el pegado de bandas de transmisión de potencia principalmente, se tomara como dato necesario para el cálculo el valor de 2 bar. como presión requerida.

Por lo tanto el valor de la reacción es un dato calculable a partir de la presión así:

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

(Ec. 2.2-1)

Donde:

P presión requerida de prensado
F fuerza aplicada
A área de aplicación de la fuerza

A partir de la Ec. 2.2-1 se puede despejar la fuerza F, la cual equivale fuerza de reacción R, y se tiene:

$$R = F = P * A$$

(Ec. 2.2-2)

Donde:

R reacción ejercida por la banda

A área de la placa y es igual a A= L x W, donde L y W corresponden al largo y ancho de la placa respectivamente como se indica en la Tabla 2.1

Por lo tanto, introduciendo los valores respectivos en la ecuación se tiene:

$$R = P * L * W$$

$$R = 2\ bar * (350 * 200) mm$$

Realizando las conversiones de unidades adecuadas se tiene:

$$\rightarrow R = 14\ [KN]$$

Una vez obtenido el valor de la reacción se procede a calcular el valor de las fuerzas F1 y F2 a partir de la sumatoria de fuerzas en el eje “Y”.

$$\sum F_y = 0$$

$$R = F1 + F2$$

Como F1=F2, entonces:

$$F1 = F2 = \frac{R}{2}$$

De donde:

$$\rightarrow F1 = F2 = 7\ [KN]$$

Ahora que se encuentran calculadas las magnitudes de las fuerzas, se puede realizar los diagramas de fuerza cortante y momento flector de la placa para analizar los esfuerzos a los que se encuentra sometida. Estos diagramas los podemos observar en la Figura 2.4.

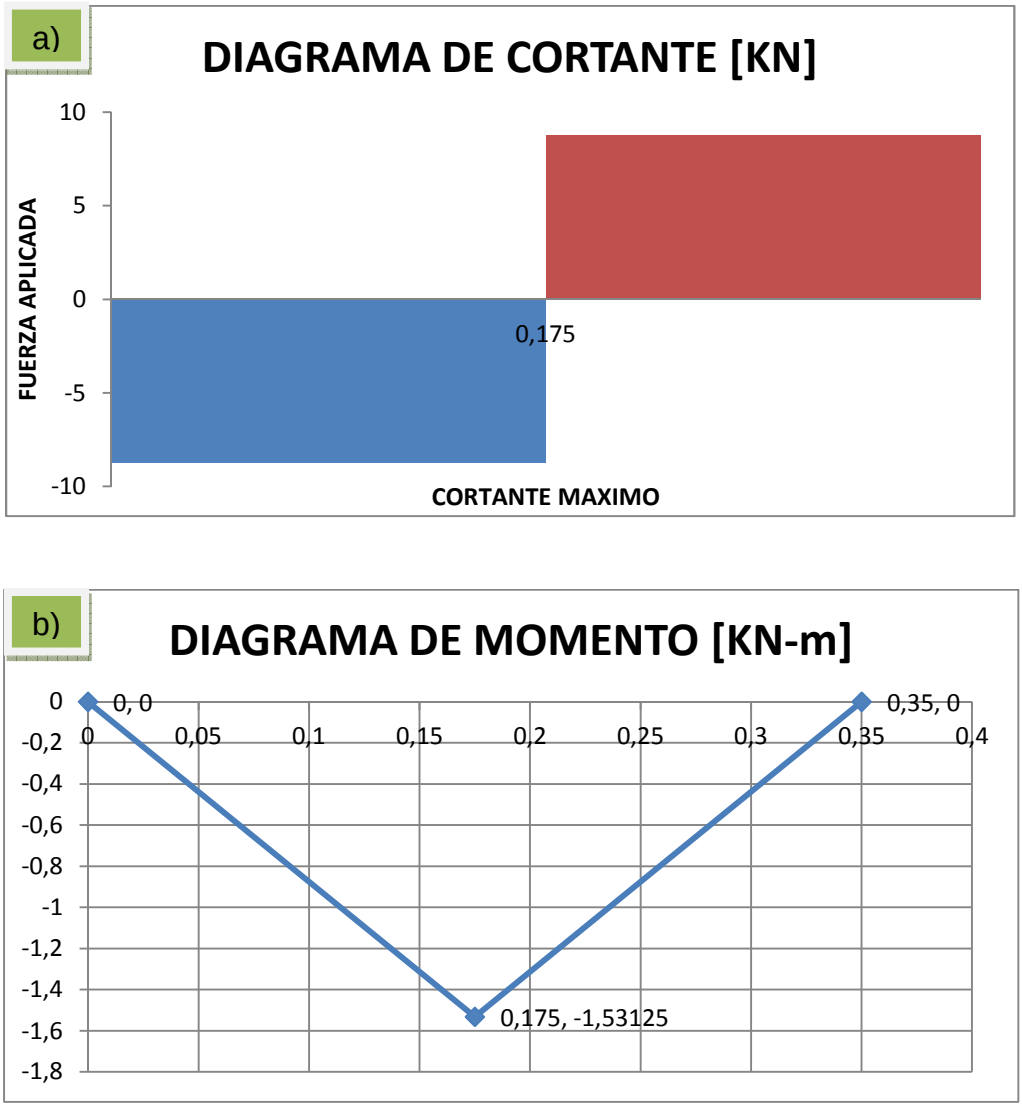


Figura 2.4 a) Diagrama de Fuerza Cortante, b) Diagrama de Momento Flector

En base a los diagramas de la Figura 2.4 se puede obtener el valor máximo del momento flector ejercido sobre la placa y es:

$$\rightarrow M = 1.225\ [KN - m]$$

Ahora que se conoce la magnitud del momento flector generado, se puede evaluar el esfuerzo máximo al cual la placa estará sometida. Para esto primero es necesario calcular el momento de inercia de la sección transversal según la siguiente ecuación:

$$I = \frac{W * L^3}{12}$$

(Ec. 2.2-3)

Donde:

I momento de inercia de la sección

W ancho de la placa

H espesor de la placa

Reemplazando los valores respectivos en la Ec. 2.2-3, se tiene:

$$I = \frac{200 * 20^3}{12}[mm]$$

Realizando la conversión de unidades adecuada se obtiene:

$$I = 1.33333E^{-7}[m^4]$$

Para realizar el cálculo del esfuerzo máximo actuante sobre la placa nos basamos en la Ec. 1.10-13 y se tiene:

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}\ C}{I}$$

$$\sigma_{max} = \frac{1.225[KN] * 10[mm]}{1.33333E^{-7}[m^4]}$$

Realizando la conversión de unidades adecuada se obtiene:

$$\rightarrow \sigma_{max} = 91875 \left[\frac{KN}{m^2}\right]$$

Con la ayuda de la Tabla 2.1 de dimensiones y propiedades físicas de la placa podemos evaluar el factor de seguridad del diseño en base a la resistencia del material como se indica en la Ec.1.10-15, entonces se tiene:

$$\eta = \frac{S_y}{\sigma_{Max}}$$

$$\eta = \frac{490.33\ [MPa]}{91875\ \left[\frac{KN}{m^2}\right]}$$

Realizando la conversión de unidades adecuada se obtiene:

$$\rightarrow \eta = 5.34$$

Con este resultado podemos afirmar que el diseño es “Seguro”

2.2.2 Análisis de la placa calefactora inferior sometida a flexión

Para el análisis de la placa inferior se procede de la misma manera y con las mismas consideraciones que para la placa superior, la diferencia se encuentra en las dimensiones de la placa en si, como se indica en la Tabla 2.1 de dimensiones y propiedades de las placas calefactoras.

Por lo tanto se calcula primero la fuerza de reacción R a partir de la Ec. 2.2-2, y se obtiene:

$$\rightarrow R = 17.5\ [KN]$$

Ahora, se calcula las fuerzas F1 y F2 que actúan sobre la placa, y son:

$$\rightarrow F1 = F2 = 8.75\ [KN]$$

Los diagramas de Fuerza cortante y Momento flector son los mostrados en la Figura 2.5

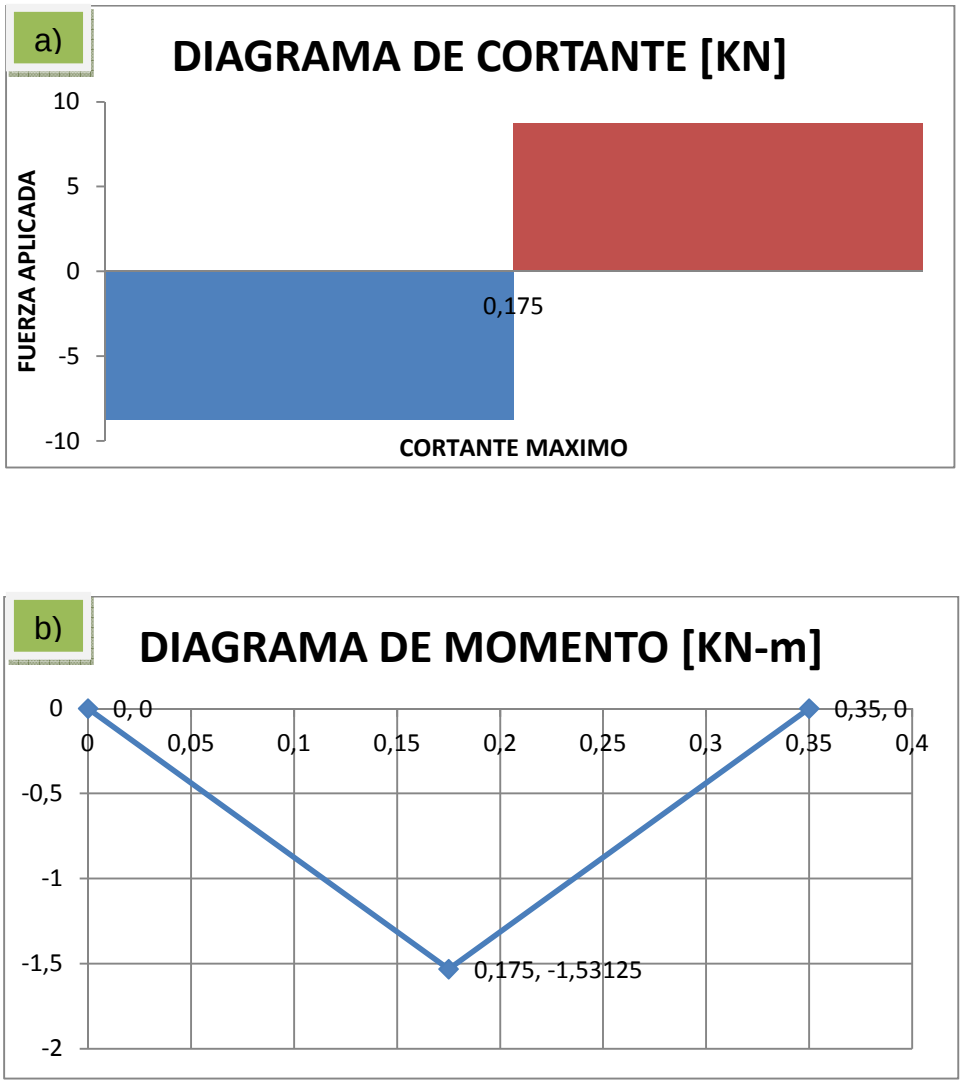


Figura 2.5 a) Diagrama de fuerza cortante, b) Diagrama de momento flector

Por lo tanto el momento flector máximo es:

$$\rightarrow M = 1.53125\ [KN - m]$$

Según la Ec. 2.2-3 el momento de inercia de la sección es:

$$\rightarrow I = 1.66667E^{-7}[m^4]$$

Según la Ec. 1.10-13 el esfuerzo máximo actuante sobre la placa es:

$$\rightarrow \sigma_{max} = 91875\ \left[\frac{KN}{m^2}\right]$$

Comparando este esfuerzo aplicado en la placa con la resistencia de la misma, podemos evaluar el factor de seguridad según la Ec. 1.10-15 y se obtiene:

$$\rightarrow \eta = 5.34$$

Con este resultado podemos afirmar que el diseño es “Seguro”

2.3 Análisis del Sistema de Control

Debido a la necesidad de optimizar el proceso de pegado de bandas, así como también el de evitar errores humanos, se ha implementado un sistema de control de temperatura tipo ON/OFF para el calentamiento y enfriamiento de la prensa.

La prensa calefactora tiene un ciclo de funcionamiento determinado por dos etapas fundamentales:

1. Etapa de calentamiento
2. Etapa de enfriamiento

En la etapa de calentamiento se obtiene un ascenso de temperatura hasta los 100ºC a nivel del mar (80 ºC - 90 ºC en Quito), temperatura a la cual el equipo debe desconectarse automáticamente de la red eléctrica para empezar la etapa de enfriamiento en base al accionamiento de ventiladores.

2.3.1 Modo de trabajo.

El sistema trabaja en base a la configuración que el operador ingrese en los controladores de temperatura JLD-612. Esta configuración básicamente ubica los valores máximos de temperatura a los cuales debe ser expuesta la banda en su pegado, es decir, establece el límite de temperatura hasta el cual deben permanecer encendidas las niquelinas, para luego ser apagadas y proceder con el encendido de los ventiladores para su enfriamiento.

2.3.2 Descripción y Funcionamiento del sistema

El sistema de control de temperatura se basa en dos controladores de temperatura, dos niquelinas y un sistema de ventiladores, esto debido a que se necesita un control local para cada plancha de la prensa. Además, con el fin de que todos los elementos trabajen conjuntamente se ha dispuesto de un sistema de relés para el

manejo de dichos elementos, así como también se ha colocado un dispositivo de seguridad (breaker) para protección del sistema contra cortocircuitos.

Cada controlador de temperatura posee dos salidas a relé J1 y J2 y una entrada para la termocupla (tipo K).

En el caso de los controladores de temperatura estos tienen la siguiente distribución de salidas y entradas mostradas en la Figura 2.6:

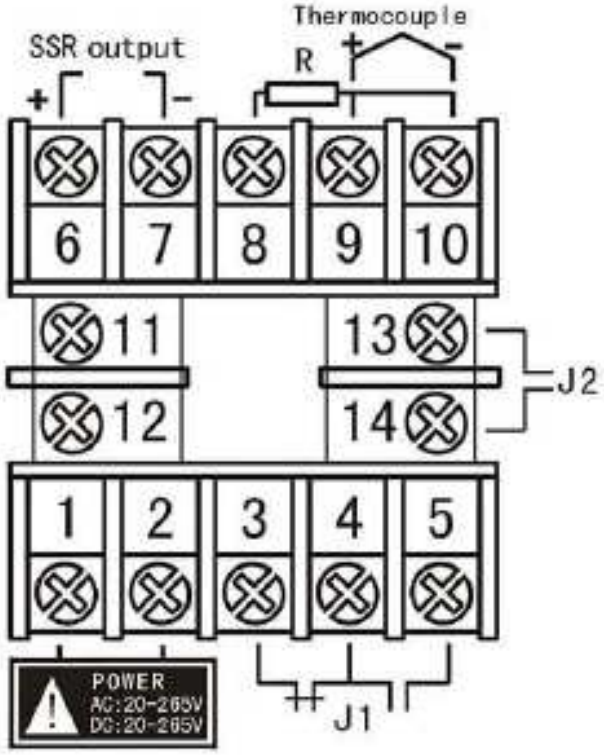


Figura 2.6 Panel trasero del Controlador

Las salidas J1 y J2 han sido configuradas para que trabajen de acuerdo al esquema que se observa en la Figura 2.7 a) y b):

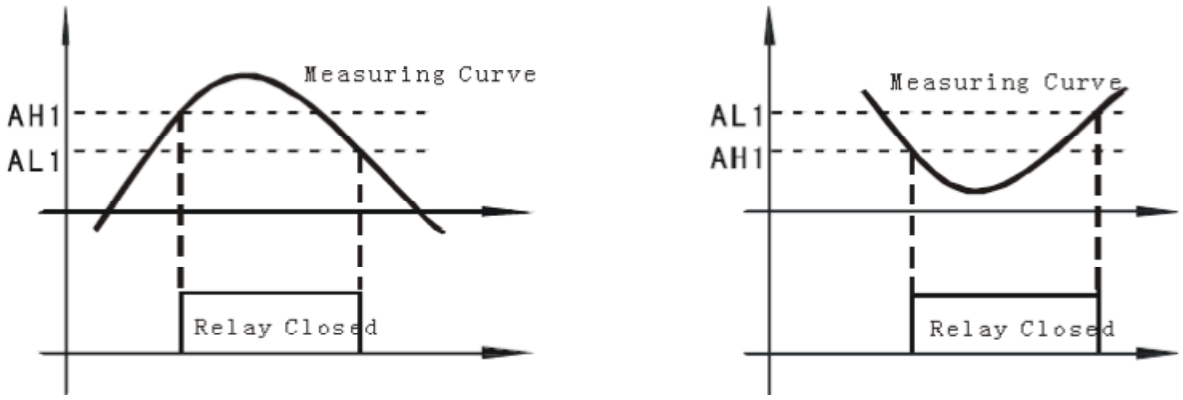


Figura 2.7 a) Activación de alarma de límite superior, b) Activación de alarma de límite inferior

Como se puede apreciar se ha establecido un umbral para la máxima temperatura de operación, temperatura en la cual el relé J1 es desactivado (abierto); antes de dicha temperatura el relé inicia como normalmente cerrado permitiendo la activación de la niquelina.

El contacto J2 es asignado para el control de los ventiladores, de igual manera se fija un umbral de temperatura en donde se debe cerrar el contacto activando los ventiladores y un umbral mínimo para apagarlos.

Además del control de encendido y apagado de las niquelinas y ventiladores se disponen de luces piloto para informar al usuario sobre el estado del sistema de control. Estas luces indicadoras son las siguientes:

Luz roja1: señal de que la niquelina 1 está funcionando
Luz verde1: Señal de que el ventilador 1 está funcionando
Luz roja2: Señal de que la niquelina 2 está en funcionamiento
Luz verde2: Señal de que el ventilador 2 esté en funcionamiento.
Luz roja 3: Indica que el dispositivo se encuentra en paro, es decir no pueden funcionar de ninguna manera ni las niquelinas ni los ventiladores.

Luz verde 3: Indica que el sistema está funcionando.
El modulo de control constara de un switch de ON/OFF, el cual se encargara de apagar o encender completamente el módulo, igualmente constará de una protección contra cortocircuitos mediante un breaker.

Para la operación de los ventiladores, se necesitara de un voltaje de 12V DC, el cual será conseguido por medio de un transformador de 220V a 9V de corriente alterna. Esta salida de 9V será luego rectificada y pasada por un capacitor para lograr obtener un voltaje de 12V DC estable.

El diagrama básico de control del módulo se presenta en el Anexo D

Entre los elementos principales del sistema de control encontramos:

2.3.3 Sensor de Temperatura – Termocupla Tipo "K"

La termocupla tipo K consta de una aleación Chromel (aleación Ni-Cr) y Alumel (aleación de Ni-Al) con una amplia variedad de aplicaciones, está disponible a un bajo costo y en una variedad de sondas. Tienen un rango de temperatura de -200º C a +1.372º C y una sensibilidad 41µV/° C aprox. Pose e buena resistencia a la oxidación.

Para un mejor acople se utilizara una termocupla con sonda roscada con una longitud de 1m, disponible tanto en el mercado local como en el extranjero. El esquema del dispositivo se puede apreciar en la Figura 2.8

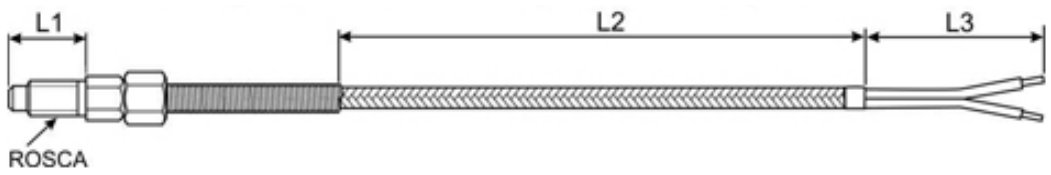


Figura 2.8 Termocupla Tipo “K” de 1m de longitud con sonda roscada.[117]

2.3.4 Controlador de Temperatura JLD-612[118]

El controlador de temperatura JLD-612 es un dispositivo digital de doble display como se observa en la Figura 2.9, el cual incluye un sistema de control PID para una mejor respuesta. A continuación se detallan sus componentes y funcionamiento:

Figura 2.9 Controlador de Temperatura

[117] http://www.lightobject.com/3ft-1M-K-type-Thermocouple-P113.aspx
[118] COLDFUSION X ELECTRONICS, “*Temperature Controller JLD-612”, EEUU.*

2.3.4.1 Características Principales del Controlador

- Soporta múltiples sensores como: Termocuplas tipo T, R, J, B, S, K, E, Wre3-Wre25, Termo-resistores Pt100 o Cu50.
- 1 Salida a Relé.
- 1 Salida a Relé con PID.
- 1 Salida a SSR con PID para control externo SSR.
- Tiempo de salida proporcional PID controlado para una salida de relé o la salida de control de RSS.
- Nuevo algoritmo que permite afinar o autoajustar el dispositivo para adaptarse a cualquier aplicación u objeto de control.
- La temperatura puede mostrarse en el display tanto en grados Fahrenheit o Celsius.

2.3.4.2 Especificaciones

- Voltaje de Operación: AC 20-265V o DC 20-360V.
- Consumo de Energía: menor o igual a 2W.
- Velocidad de muestreo: 4/seg.
- Voltaje de activación de SSR: Circuito abierto: 8V; circuito cerrado: 40mA.
- Precisión: 0.2% de la escala completa.
- Display LED: 0.28 pulgadas color rojo.
- Indicación de fuera de rango: “EEEE”.
- Requisito de la temperatura ambiente: 0~+50 ºC.
- Requerimiento de humedad: menor o igual a 85% RH
- Capacidad de contacto de relé: AC 220V / 3A.
- Dimensión del controlador: 48 x 48 x 82 (mm)

CAPÍTULO 3

ELABORACIÓN DE PLANOS Y CONSTRUCCIÓN DE LA PRENSA

3.1 Generalidades

Para la construcción y ensamblaje de la prensa calefactora se debe considerar cada una de las operaciones necesarias para la fabricación de las partes constitutivas de la máquina, las mismas que se detallan en este capítulo y que se deben realizar con las máquinas y equipos adecuados para lograr el correcto montaje y funcionamiento del sistema.

3.2 Elaboración de Planos

Los planos de montaje y de taller se presentan en el Anexo E, en los cuales se especifica la ingeniería de detalle que permite la construcción y ensamblaje de la prensa.

3.3 Construcción y Ensamblaje de la Prensa.

En la construcción o ensamblaje de la prensa intervienen 3 subsistemas que son:

- Sistema Estructural
- Sistema Térmico.
- Sistema de Control.

Cada uno de estos subsistemas debe ser construido y ensamblado con precisión y con una determinada secuencia.

3.3.1 Sistema Estructural

Para la construcción de los distintos elementos que conforman el sistema estructural es necesaria la utilización de una serie de instrumentos de medida, herramientas y máquinas herramientas, las mismas que se describen a continuación:

En la tabla 3.1 se detalla el listado de herramientas necesarias para la construcción y ensamblaje de los elementos mecánicos.

Designación	Descripción
H1	Sierra de Arco
H2	Entenalla
H3	Machuelos
H5	Limas
H6	Esmeril
H8	Brocas
H9	Destornillador
H10	Pela cables
H11	Llaves
H12	Llaves Allen

Tabla 3.1 Lista de herramientas

En la tabla 3.2 se detalla el listado de máquinas herramientas necesarias para la construcción de los elementos mecánicos.

Designación	Descripción
MH1	Torno
MH2	Fresadora
MH3	Rectificadora
MH4	Taladro de Banco
MH5	Amoladora
MH6	Caladora Eléctrica

Tabla 3.2 Lista Máquinas Herramientas

En la tabla 3.3 se detalla el listado de equipos necesarios para la fabricación de los elementos mecánicos.

Designación	Descripción
E1	Equipo de suelda
E2	Equipo de pintura

Tabla 3.3 Lista Equipos

En la tabla 3.4 se detalla el listado de instrumentos de medida necesarios para la fabricación de los elementos mecánicos.

Designación	Descripción
I1	Calibrador
I2	Escuadra metálica
I3	Flexómetro
I4	Regla metálica

Tabla 3.4 Lista de instrumentos de medición

Para la fabricación de los diferentes elementos mecánicos que componen la prensa, se requiere de algunas operaciones que siguen una determinada secuencia, las mismas que se detallan en la Tabla 3.5.

Designación	Descripción
O1	Corte material
O2	Fresado
O3	Esmerilado
O4	Torneado
O5	Taladrado
O6	Machuelado
O7	Soldado

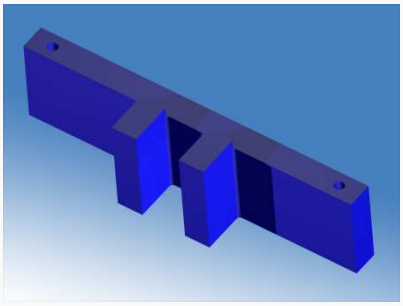
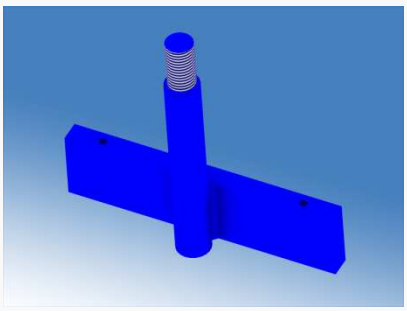
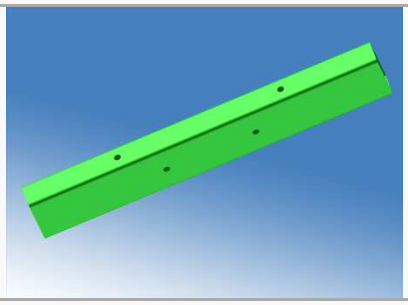
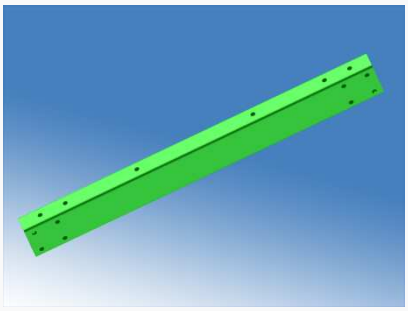
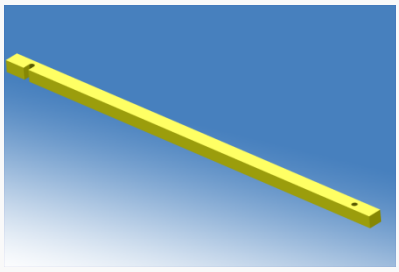
Tabla 3.5 Operaciones requeridas para la fabricación de las partes.

En la Tabla 3.6 se muestra la materia prima necesaria para la construcción de la prensa

Descripción	Dimensiones
Placa de aluminio #1	350x200x20 [mm]
Placa de aluminio #2	350x250x20 [mm]
Tubo rectangular	50x20x1 [mm]
Platina de acero ASTM A36	200x50x15 [mm]
Platina de acero ASTM A36	55x25x15 [mm]
Platina de acero ASTM A36	200x50x15 [mm]
Eje de acero ASTM A36	Ø=25 x190 [mm]
Platina de acero ASTM A36	450x15x15 [mm]
Platina de acero ASTM A36	280x100x3 [mm]
Platina de acero ASTM A36	80x50x10 [mm]
Placa perforada	350x200x3 [mm]
Placa perforada	350x250x3 [mm]
Perno Allen	M6x1x15
Perno Allen	M6x1x70
Perno hexagonal	M6x1x120
Perno Allen	M6x1x50
Arandela Plana circular	Ø=22 [mm]
Tuerca hexagonal	M20x2,5
Arandela Plana circular	Ø=6 [mm]
Tuerca hexagonal	M6x1
Tuerca tipo mariposa	M6x1
Resorte	N/A
Lamina de asbesto	350x200 [mm]
Lamina de asbesto	350x250 [mm]

Tabla 3.6 Listado de materia prima

En la Tabla 3.7 se indican los elementos que se deben construir para el ensamblaje del sistema estructural de la prensa:

Descripción	Cantidad	Gráfico
Guía Superior de Perno	2	
Guía Inferior de Perno	2	
Tubo de Marco Superior	2	
Tubo de Marco Inferior	2	
Guía Exterior	2	

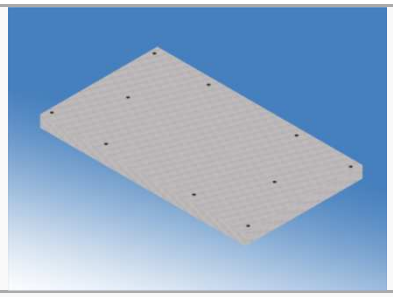
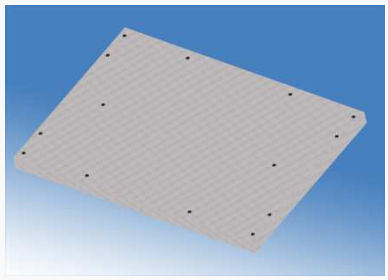
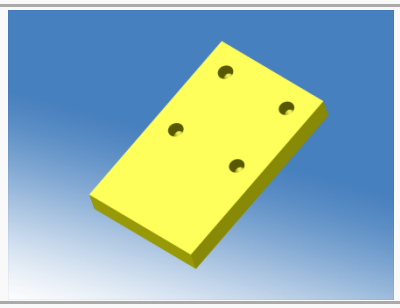
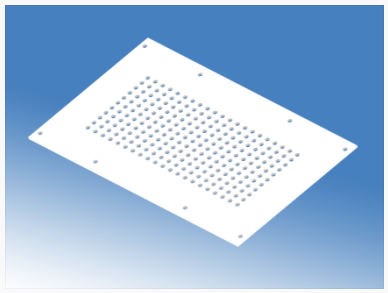
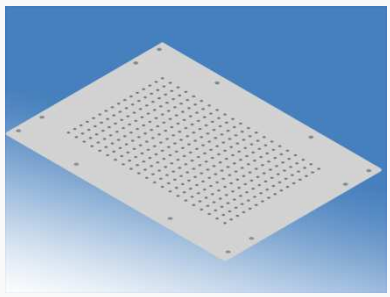
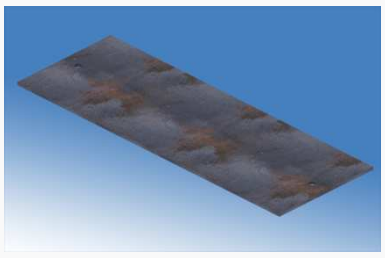
Placa Calefactora Superior	1	
Placa Calefactora Inferior	1	
Soporte para Base	4	
Placa Perforada Superior	1	
Placa Perforada Inferior	1	
Placa de ajuste	2	

Tabla 3.7 Listado de elementos a construir.

3.3.1.1 Diagrama de Flujo de construcción

Los diagramas de flujo que se describen a continuación indican la secuencia de fabricación del sistema estructural y el ensamblaje de la máquina, para lo cual se hace uso de una simbología apropiada la cual se ilustra en la siguiente tabla:

SIMBOLO	DEFINICION
	Operación
	Inspección
	Proceso Terminado
	Ensamble Final

Tabla 3.8 Simbología utilizada en el diagrama de flujo.

En la Figura 3.1 se detallan las actividades necesarias del proceso de construcción y ensamblaje de la parte inferior de la prensa.

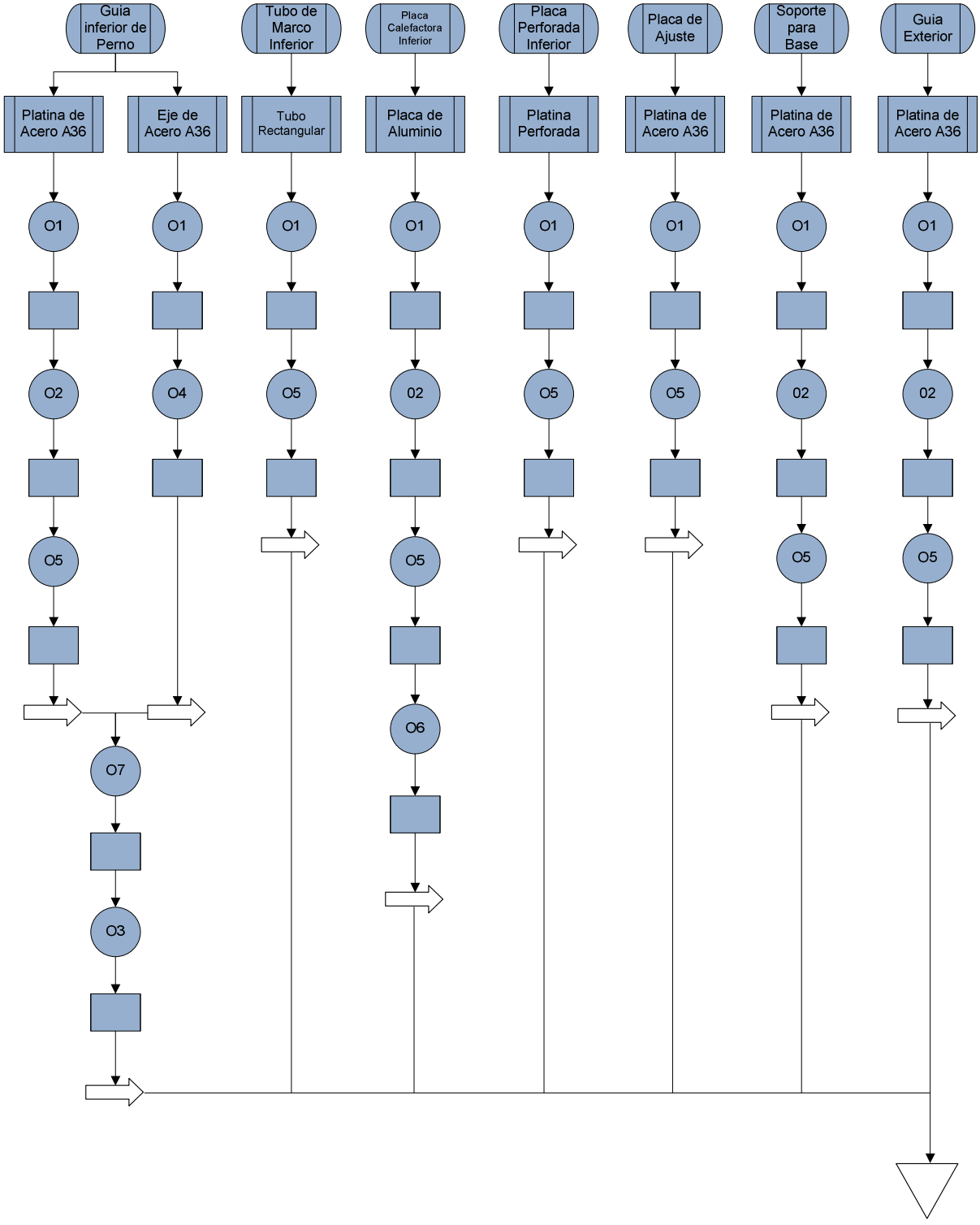


Figura 3.1 Diagrama de flujo de Construcción de la Parte inferior de la prensa

En la Figura 3.2 se puede apreciar el ensamble concluido de la parte inferior de la prensa calefactora.

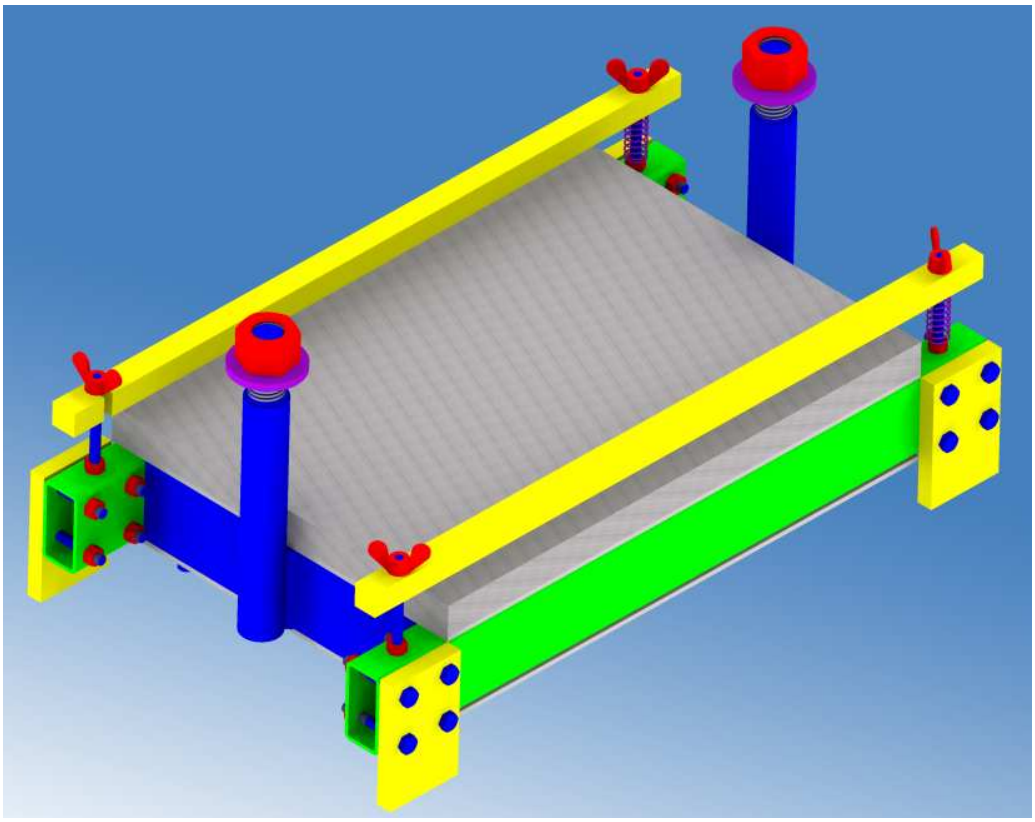


Figura 3.2 Gráfico de la parte inferior de la prensa

En la Figura 3.3 se detallan las actividades necesarias del proceso de construcción y ensamblaje de la parte superior de la prensa.

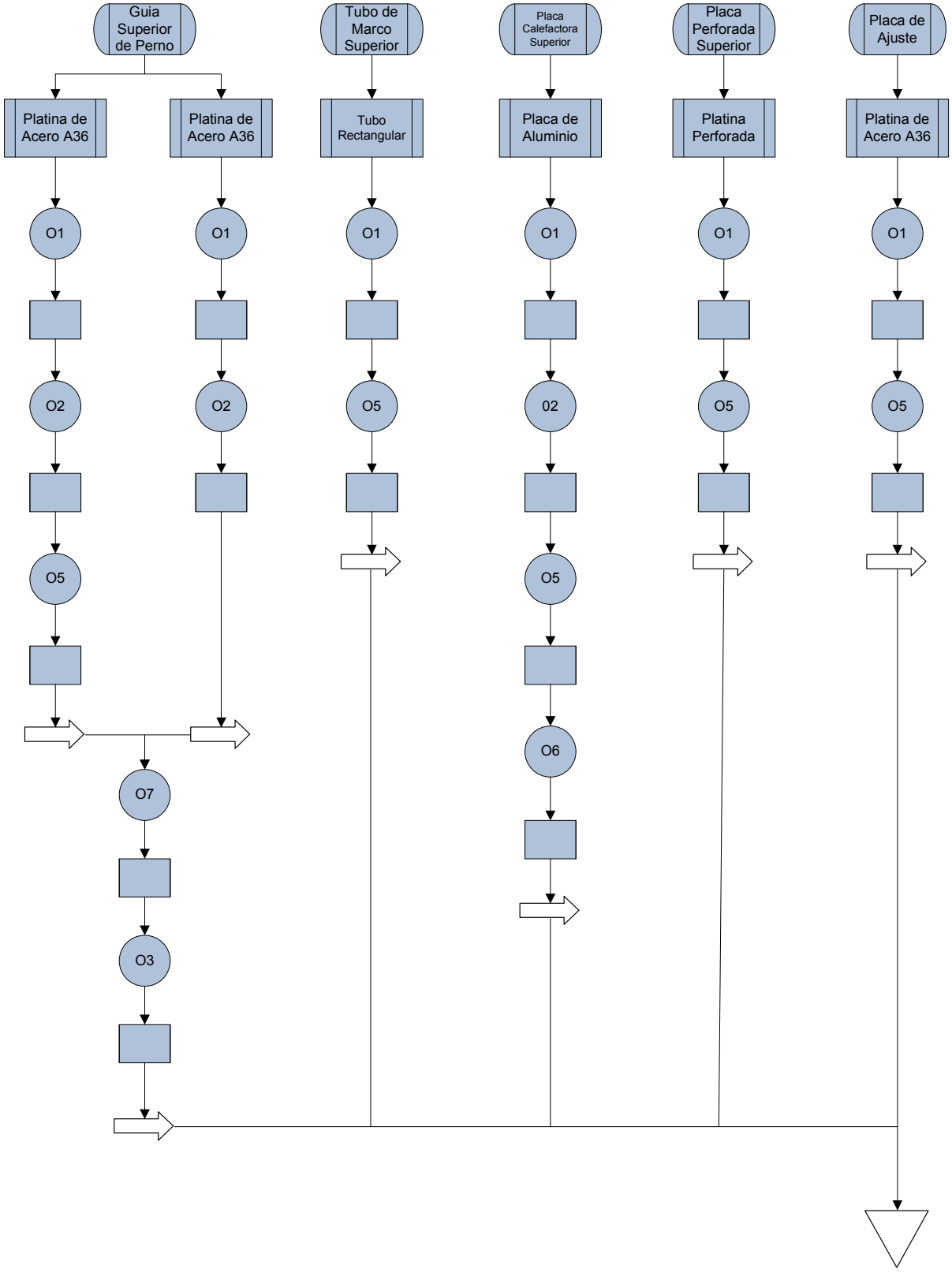


Figura 3.3 Diagrama de flujo de Construcción de la Parte Superior de la Prensa

En la Figura 3.4 se puede apreciar el ensamble concluido de la parte superior de la prensa calefactora.

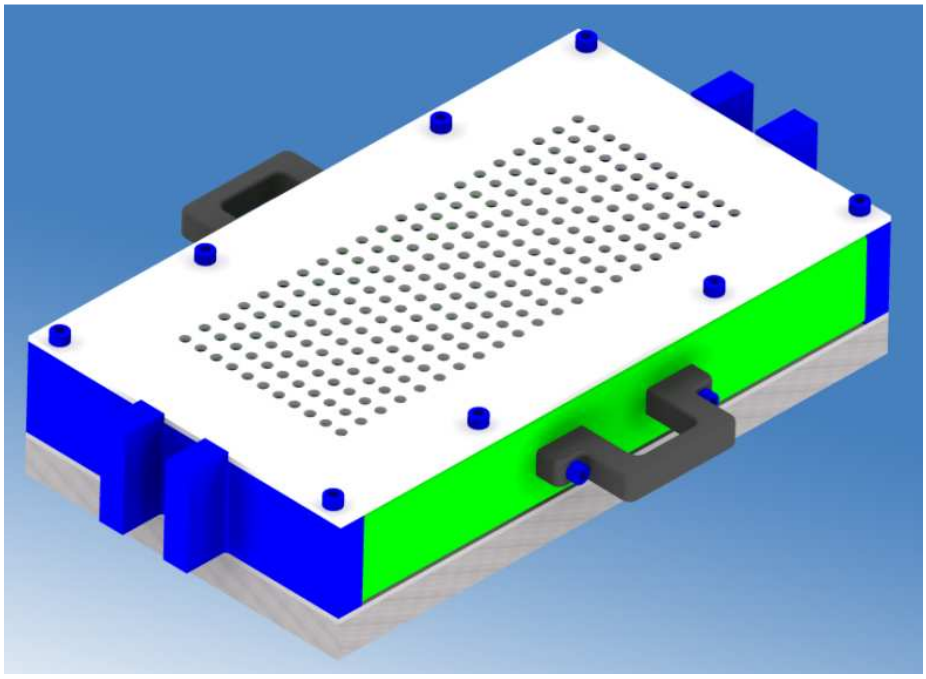


Figura 3.4 Gráfico de la parte superior de la prensa

3.3.2 Sistema Térmico

El sistema térmico está compuesto de dos niquelinas destinadas para la etapa de calentamiento de las placas calefactoras, además, consta de una serie de ventiladores localizados tanto en la parte inferior como en la superior de la prensa y que sirven para generar un flujo de aire el cual permitirá enfriar las placas.

En la Tabla 3.9 se indican los elementos que se deben adquirir para el ensamblaje del sistema térmico de la prensa:

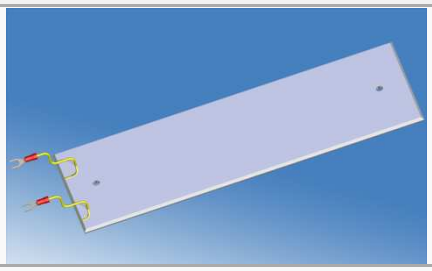
Descripción	Cantidad	Gráfico
Niquelina	2	
Ventilador	6	

Tabla 3.9 Listado de elementos que constituyen el sistema térmico

En la Figura 3.5 se detallan las actividades necesarias del proceso ensamblaje del sistema térmico

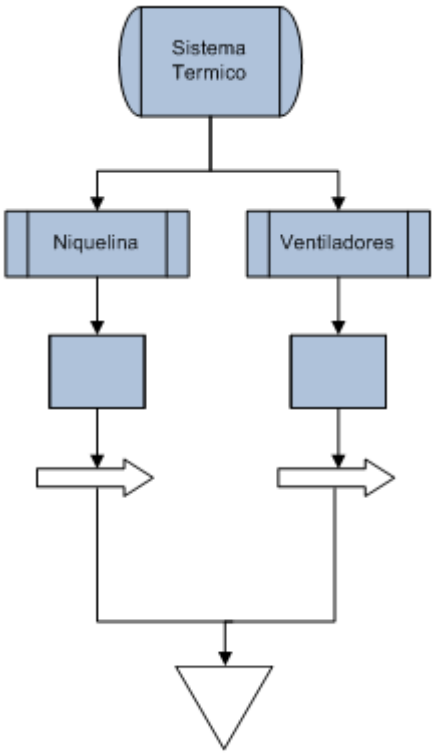
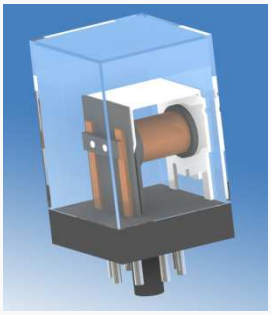
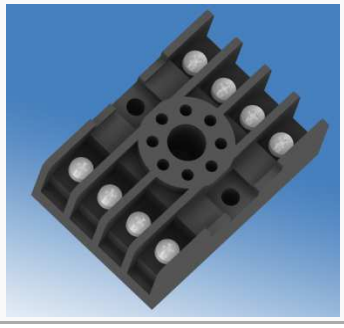


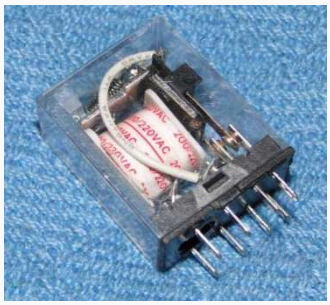
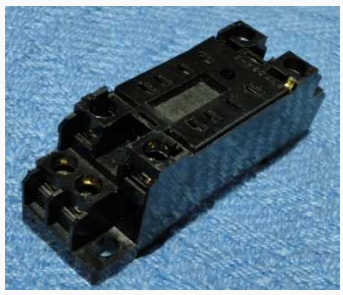
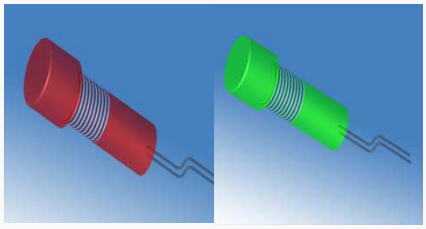
Figura 3.5 Diagrama de flujo de ensamblaje del sistema térmico

3.3.3 Sistema de control

El objetivo fundamental de este sistema es controlar de forma independiente las etapas de calentamiento y enfriamiento de cada una de las placas calefactoras (superior e inferior) comparando valores de temperatura establecidos con valores de temperatura obtenidos mediante sensores.

En la Tabla 3.10 se indican los elementos necesarios para el ensamblaje del sistema de control de la prensa:

Descripción	Cantidad	Gráfico
Controladores de Temperatura	2	
Relé 10A Bobina 220V	2	
Base de Relé 10A	2	

Relé 3A Bobina 220V	3	
Base de Relé 3A	3	
Luces Piloto 220V	6	
Pulsantes NC-NA Marcha/Paro	2	
Breaker 16A	1	
Transformador 220V/9V, 1A	1	

Tomacorriente Simple 220V, 15A	1	
Tomacorriente Doble 220V, 15A	1	
Tomacorriente 110V, 15ª	1	
Interruptor On/Off 15A, 2 Polos	1	
Termocuplas Tipo K vaina roscada	2	

Tabla 3.10 Listado de elementos que constituyen el sistema de control

En la Figura 3.6 se puede apreciar el ensamble concluido del sistema de control de la prensa.

Figura 3.6 Gráfico del sistema de control de la prensa

Una vez construidos y ensamblados los diferentes sistemas constitutivos de la máquina, se procede a inspeccionar cada uno de estos para constatar su correcto funcionamiento y finalmente culminar con el ensamble de la prensa.

En la Figura 3.7 se detallan las actividades necesarias para el proceso de ensamblaje de la prensa.

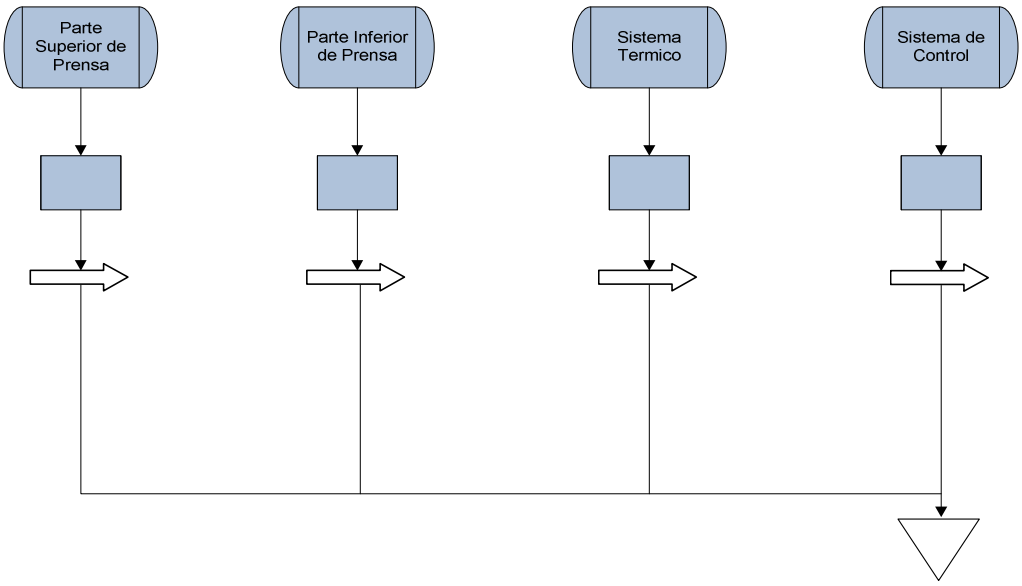


Figura 3.7 Diagrama de Flujo del ensamblaje de la Prensa

En la Figura 3.8 se observa la prensa obtenida una vez ensamblados cada uno de los sistemas componentes que se detallan en la figura 3.7 (Diagrama de Flujo del ensamblaje de la Prensa).

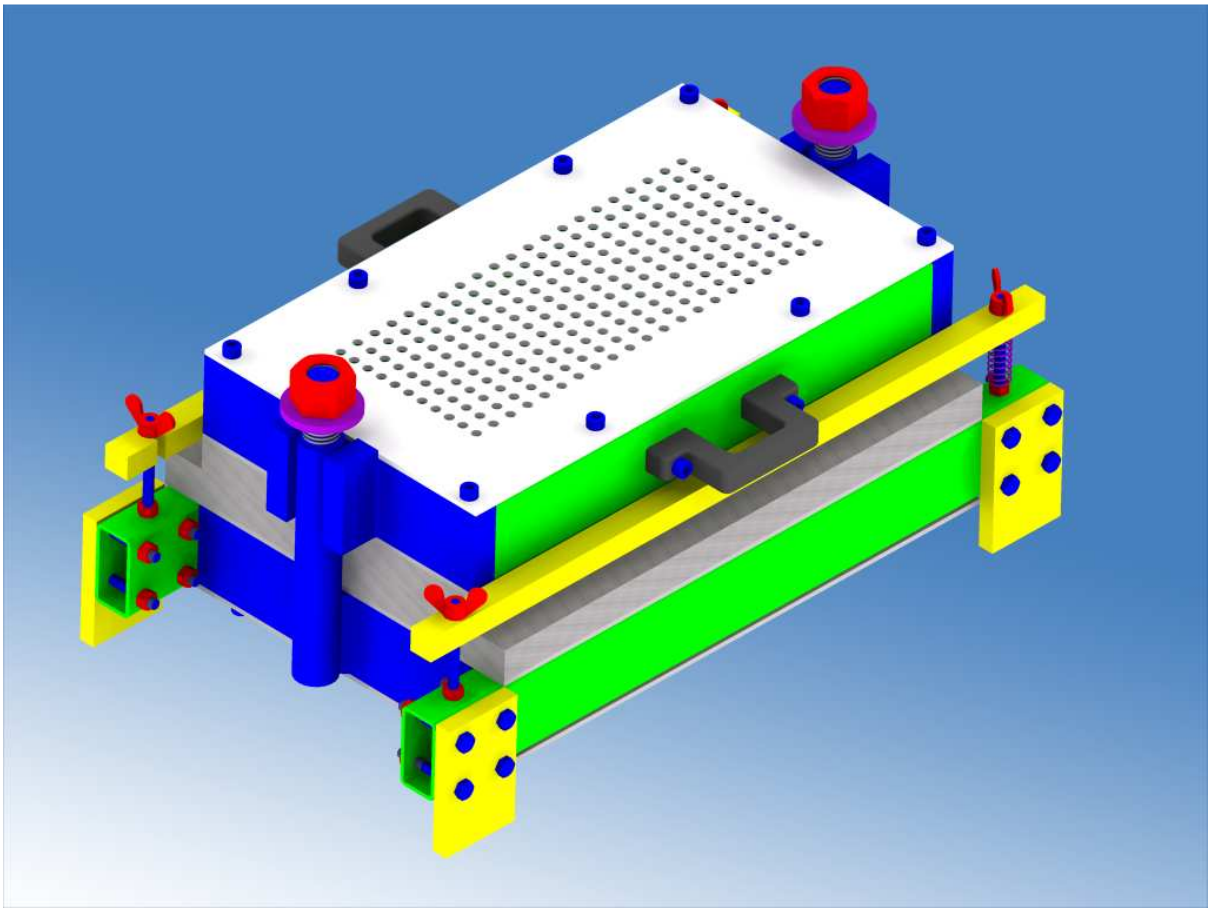


Figura 3.8 Gráfico de la prensa calefactora

CAPÍTULO 4

PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y ANALISIS DE COSTOS

4.1 Pruebas de Funcionamiento

Luego de construir la máquina se precedió a realizar las respectivas pruebas de campo en condiciones normales de funcionamiento recomendadas para el pegado de bandas planas sintéticas de transmisión.

4.1.1 Parámetros de Funcionamiento

La prueba de funcionamiento se la realizo aplicando el proceso a una banda plana sintética de tipo TG 6 de la marca SIEGLING, correspondiente a un tipo textil goma, cuyos parámetros fueron controlados según datos técnicos recomendados por el fabricante los cuales se encuentran detallados en la Tabla 4.1

PARAMETROS DEL PROCESO DE PEGADO	
Tipo de banda	TG
Tipo de pegado	Bisel
Ancho de la banda [mm]	116
Espesor de la banda [mm]	1
Presión aplicada a la junta [bar]	2
Temperatura inicial de calentamiento [ºC]	Temperatura Ambiente
Temperatura final calentamiento [ºC]	80
Temperatura inicial de enfriamiento [ºC]	80
Temperatura final de enfriamiento [ºC]	50

Tabla 4.1 Parámetros del proceso de pegado

En la Figura 4.1, 4.2 y 4.3 se muestran fotografías de la realización de las pruebas del proceso de pegado.

Figura 4.1 Empalme de las bandas para iniciar proceso de pegado

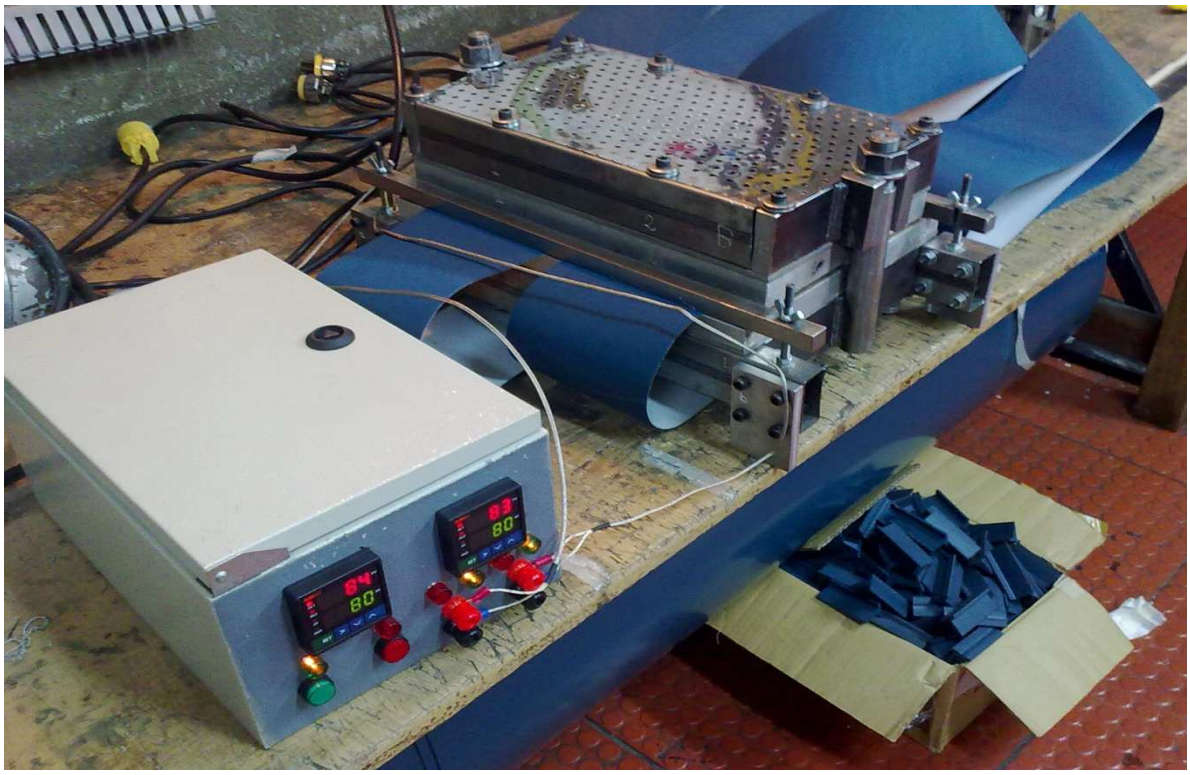


Figura 4.2 Proceso de pegado

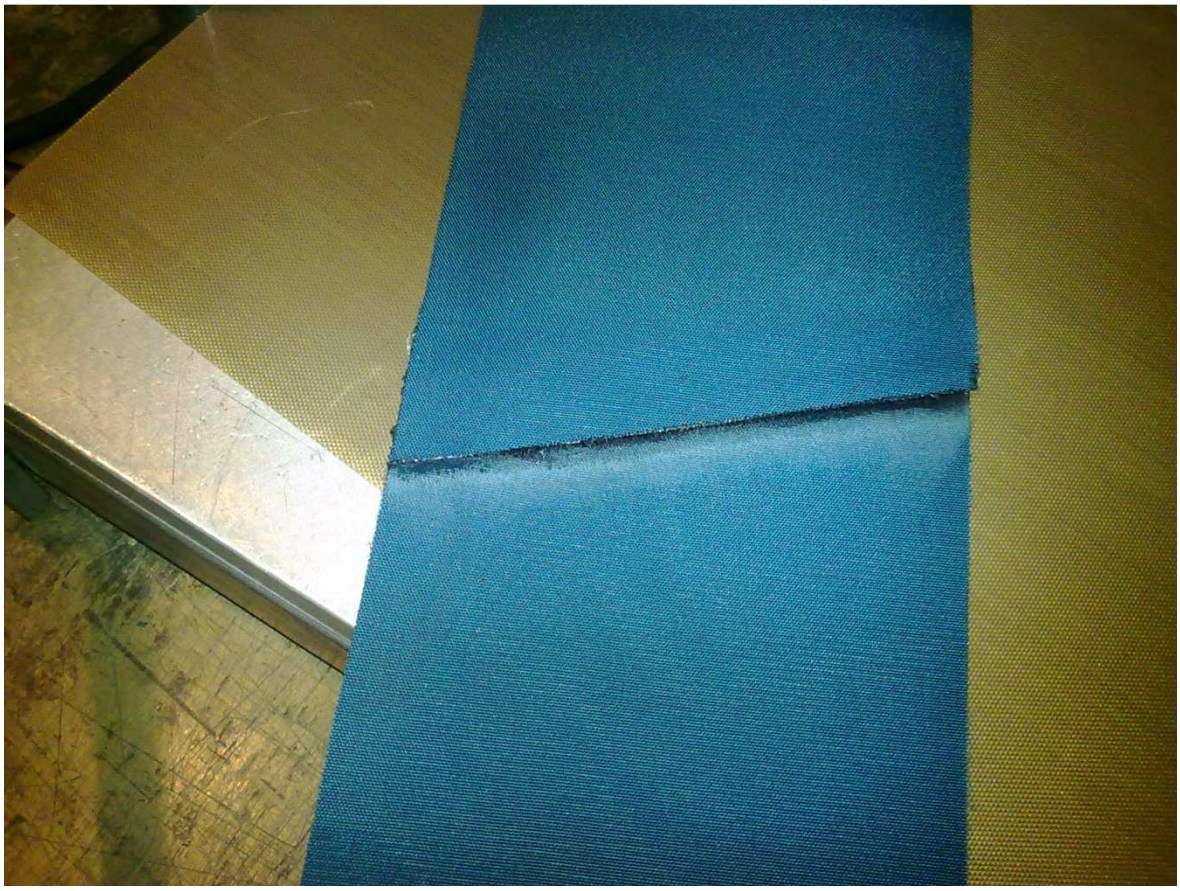


Figura 4.3 Proceso de pegado terminado

4.1.2 Resultados obtenidos

Durante la realización de las pruebas se midieron los parámetros de temperatura y tiempo para comprobar el correcto desempeño de la prensa tanto en la etapa de calentamiento como en la de enfriamiento en el proceso de pegado, obteniéndose los resultados que se muestran en la Tabla 4.2.

a)

ETAPA DE CALENTAMIENTO		
Tiempo [min]	Temperatura [C]	
	Placa Superior	Placa Inferior
0	20	20.6
1	27	27.3
2	34	34.8
3	42	42.7
4	50	50.6
5	58	58.5
6	66	66.5
7	74	74.5
8	82	82.4
9	91	91.5
10	98	98.7
10.7	100	100

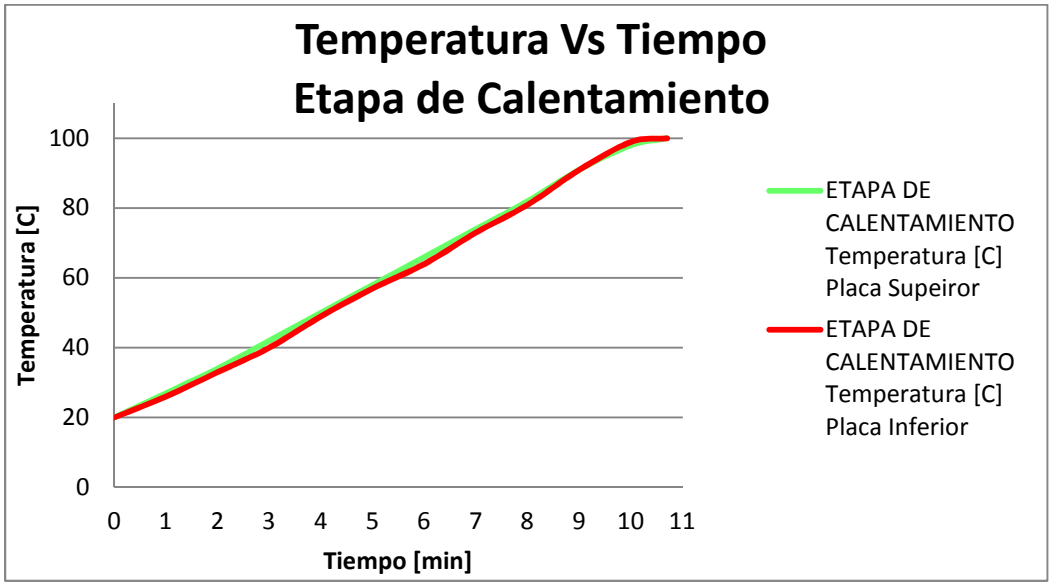
b)

ETAPA DE ENFRIAMIENTO		
Tiempo [min]	Temperatura [C]	
	Placa Superior	Placa Inferior
0	82	80
5	80	78
10	78	74
15	75	70
20	71	67
25	68	64
30	64	61
35	61	59
40	59	57
45	56	55
50	54	53
55	52	51
60	50	50

Tabla 4.2 a) Resultados obtenidos de temperatura Vs tiempo en la etapa de calentamiento, b) Resultados obtenidos de temperatura Vs tiempo en la etapa de enfriamiento.

En la Figura 4.4 a) y b) se puede apreciar la variación de la temperatura con respecto al tiempo durante el proceso pegado.

a)



b)

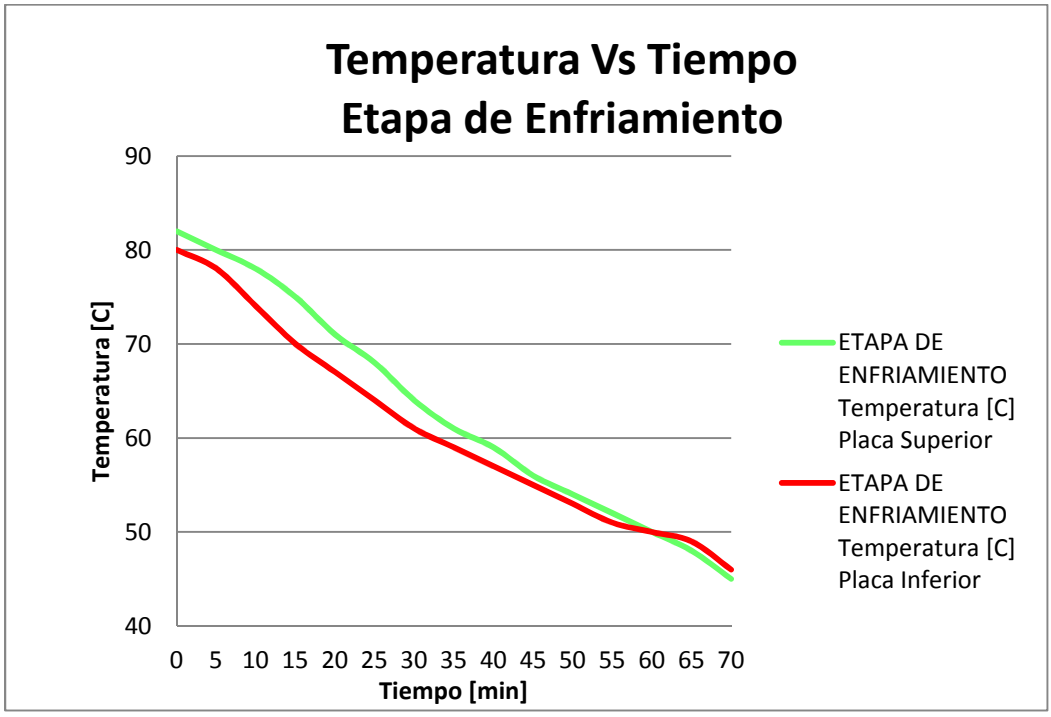


Figura 4.4 a) Grafica de la Temperatura Vs Tiempo en la etapa de calentamiento.
b) Grafica de la Temperatura Vs Tiempo en la etapa de enfriamiento.

4.1.3 Análisis de Resultados

Según lo observado en las pruebas de funcionamiento se pudo constatar el buen desempeño de los diferentes sistemas que conforman la prensa, obteniendo un resultado satisfactorio en el producto terminado.

A pesar de la eficiencia y los buenos resultados de la máquina se encontró que existe un ligero margen de error en la temperatura medida por las termocuplas con respecto a la temperatura real, debido a un retardo en el sondeo de la señal principalmente producido por la vaina de protección de la termocupla ubicada en la prensa.

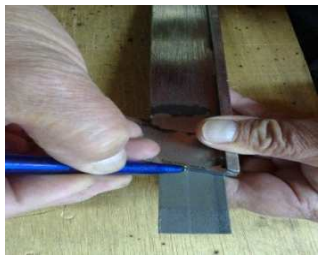
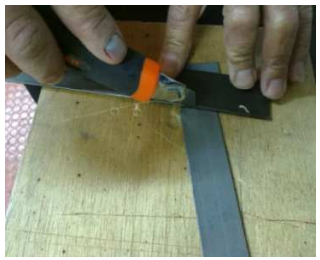
Luego de realizar dichas pruebas se pudo evidenciar este retardo al apagar las niquelinas a 80 ºC y verificar que la temperatura final ascendía 5 a 7 grados más de lo establecido, pero sin repercutir en la calidad del producto terminado.

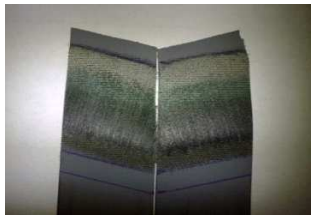
Comparando los datos obtenidos experimentalmente de tiempo de los procesos de calentamiento y de enfriamiento con los valores teóricos se puede apreciar que existe un margen de error mínimo entre 3% y 4%, lo cual permite afirmar que los modelos utilizados con sus respectivas consideraciones fueron los suficientemente precisos para el diseño y evaluación del sistema.

El sistema de control de temperatura para las etapas de enfriamiento y calentamiento tienen una programación que permitió que el proceso sea semiautomático lo cual facilito el trabajo del operador al no tener que supervisar el proceso de forma continua, sino, solamente al inicio para establecer los parámetros de pegado.

4.1.4 Estandarización de proceso

Luego de realizar las pruebas del pegado de varias bandas, se registró los parámetros de funcionamiento adecuados y secuencias lógicas del proceso, a partir de estos resultados, se puede desarrollar y documentar un procedimiento de trabajo estandarizado aplicable únicamente a bandas planas sintéticas de transmisión de potencia como se muestra en la Tabla 4.3 y Tabla 4.4.

HOJA DE TRABAJO ESTANDARIZADO							
Preparacion de la Banda							
GRAFICO O FIGURA	**SECUENCIA**	**ESTADO**	**OPERACION**	**METODO**	**REQUERIMIENTO PARA EJECUCION**	**Observaciones**	**TIEMPO DE EJECUCION**
	1		Verificar la longitud de la banda	Debe calcularse el largo de la banda o medirse	Flexometro	Obsevar la carrera de tension del sistema	15 min
 	2		Corte de la banda	1.-Marcar el angulo de empalme maximo recomendado 2.-Trazar la linea de corte en relacion al sentido de marcha, agregando 100 mm a la longitud a la medida de la banda 3.-Cortar la banda con la inclinacion requerida con los extremos paralelos	Regla Cuchilla	Se recomienda un angulo de corte de 75 grados	10 min

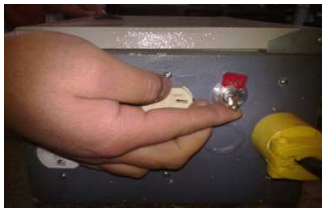
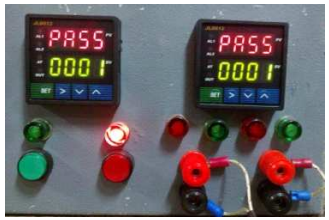
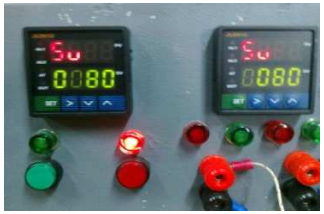
	3		Preparacion del empalme(Biselado)	1.-Alinear y fijar uno de los extremos de la banda aproximadamente a 1mm del canto afilado de la mesa de biselar y paralelamente al borde de la misma. 2.-Biselar los extremos de la banda en sus lados opuestos	Mesa de Biselar	1.-Los extremos del bisel deden quedar perfectamente afilados. 2.-Valor sugerido para la longitud de bicel de 15 a 20 mm por milimetro de espesor de la banda	15 min
	4		Acabado	Limpiar de eventuales residuos las dos superficies biseladas	Brocha guaype	Si es necesario proteger esta superficie de cualquier suciedad	5 min

Simbología	Significado	Descripción
	Secuencia Mandatoria	Se coloca este símbolo cuando la operación es indispensable para seguir con el proceso.
	Operación Opcional	Se utiliza este símbolo para identificar una operación que no altera el proceso.
	Operación Crítica	Se utiliza este símbolo en operaciones requeridas para mejorar el servicio brindado al consumidor final.
	Retorno al punto de Inicio	Este símbolo se utiliza cuando el proceso a terminado e inicia un nuevo ciclo.

Tabla 4.3 Hoja de Trabajo Estandarizado – Procedimiento de Preparación de la Bandas Planas

HOJA DE TRABAJO ESTANDARIZADO							
Pegado de la Banda							
GRAFICO O FIGURA	**SECUENCIA**	**ESTADO**	**OPERACION**	**METODO**	**REQUERIMIENTO PARA EJECUCION**	**Observaciones**	**TIEMPO DE EJECUCION**
	1		Aplicacion de pegamento sobre las superficies de empalme	Untar ambas superficies biseladas con el adhesivo correspondiente y dejar que se peguen de 2 a 5 minutos	Espatula pequeña Pegamento o Adhesivo (Ver Anexo C)	Asegurar la uniformidad del adhesivo en la respectiva capa	10 min

   	2		Colocacion en prensa calefactora	1.Colocar las superficies biseladas en la prensa de manera que se corescpondan entre si, alinearlasy fijarlas con las guias exteriores o regletas de apriete 2.-Cerrar la prensa y apretar fuertemente por igual las tuercas hasta alcanzar la presion requerida	Prensa calefactora Torquimetro	Aseguarse que las tuercas sean apretadas por igual	10 min
	3		Conectar los sensores de temperatura en la prensa calefactor	Ajustar la parte roscada del sensor en las placas calefactoras sin usar ningun tipo de llave.		Ajustar unicamente con la mano	1 min

	4		Conectar los sensores de temparatura en el sistema de control	Conectar los terminales del sensor en las borneras correspondientes que se encuentran localizadas en el panel forntal del dispositivo de control		Ajustar unicamente con la mano	1 min
	5		Encender el dispositivo de control	En el panel trasero del dispositivo se encuentra el switch de encendido el cual debe ser colocado en la posicion "ON"		El dispositvo de control debe ser conectado a una fuente de 220V para su correcto desempeno	1 min
 	6		Ingreso de "Set Value" en el controlador de temperatura	Presionar "SET" y luego el codigo "0001" y presionar "SET" nuevamente. Ubicar "SV" y presionar "SET" para modificar su valor			5 min

 	7		Ingreso de Punto Limite superior	Ubicar "AH1" o "AH2" y presionar "SET" para modificar su valor		AH1=Temperatura requerida de pegado AH2=Temperatura inicial de enfriamiento Ver Seccion 2.3.2 Descripcion y funcionamiento del sistema o Anexo D	5min
 	8		Ingreso de Punto Limite Inferior	Preisonar "SET" y luego el codigo "0001" y presionar "SET" nuevamente, Ubicar "AL1" o "AL2" y presionar "SET" para modificar su valor		AL1 = 0 AL2=Temperatura final de enfriamiento Ver Seccion 2.3.2 Descripcion y funcionamiento del sistema o Anexo D	5min
	9		Inicio de proceso	Una vez ingresado todos los parametros de pegado, pulsar el boton de inicio (pulsante verde) para dar inicio al proceso		En este instante las luces indicadoras de funcionamiento de niquelinas se encenderan para dar a conocer que su estado paso de pasivo hacia activo	1min

	10		Fin de proceso	En circunstancias normales la finalizaiocn del proceso es automatica y se envidencia por el apogado general de las luces piloto		Una vez iniciado el proceso de pegado es posible finalizar de manera repentina presionando el boton de parada (pulsante rojo), pero si se finaliza el	N/A
	11		Producto terminado	Una ves finalizado el preoceso abrir la prensa, sacar la banda y limpiar los cantos	Llave de tuercas	La banda podra ser utilizada inmediatamente	5 min

Simbología	Significado	Descripción
	Secuencia Mandatoria	Se coloca este símbolo cuando la operación es indispensable para seguir con el proceso.
	Operación Opcional	Se utiliza este símbolo para identificar una operación que no altera el proceso.
C	Operación Crítica	Se utiliza este símbolo en operaciones requeridas para mejorar el servicio brindado al consumidor final.
	Retorno al punto de Inicio	Este símbolo se utiliza cuando el proceso a terminado e inicia un nuevo ciclo.

Tabla 4.4 Hoja de Trabajo Estandarizado – Procedimiento de Pegado de Bandas Planas

4.2 Análisis de costos

Para determinar el valor total del proyecto es necesario especificar los costos de diseño, materia prima, mano de obra, además de un porcentaje de imprevistos.

4.2.1 Costos de materiales

En la tabla 4.5 se especifica el costo de los materiales manufacturados y los elementos normalizados adquiridos para la construcción de la máquina.

a)

MATERIALES MANUFACTURADOS	COSTO [$]
Placa 350x250x20	150
Tubo rectangular	12.5
Soporte base x4	35
Guía inferior x 2	45
Guía superior x2	45
Placa 350x200x20	150
Guías exterior x2	65
Placa de ajuste x1	15
Placa perforada x 2	30
Niquelina 1	45
Niquelina 2	45
Manijas	35
Empaque 350x200x5 amianto	20
Empaque 350x250x5 amianto	20
SUBTOTAL	**507.5**

b)

ELEMENTOS NORMALIZADOS	COSTOS [$]
controladores y termocuplas	150
6 ventiladores	14
Sistema de Control	310
24 pernos M6 hexagonal x 70mm y arandelas	5
4 pernos M6 x120 mm y Tuercas tipo mariposa	3.4
16 pernos M6 x 50mm x tuercas	5
4 cauchos y abrazaderas para cables	9
2 resortes	4
20 arandelas M6	1.5
2 tuercas M20	1.5
2 arandelas M20	0.25
2 pernos M6	0.25
Pintura Aerosol	4.8
24 pernos para ventiladores y tuercas	2
20 arandelas M6	1.5
Borneras cerámicas	5
SUBTOTAL	**510.7**

Tabla 4.5 a) Detalle de costos materiales manufacturados b) Detalle de costos de elementos normalizados.

4.2.2 Costos de mano de obra

Estos costos mantienen una relación directa con el costo de mano de obra por el tiempo requerido para ensamblar la máquina.

Para el ensamblaje se considera el trabajo de dos personas durante dos días a un costo de 20$ diarios por trabajador. Este resultado se detalla en la Tabla 4.6

TRABAJADORES	HORAS DE TRABAJO	COSTO HORA [$]	COSTO TOTAL [$]
1	16	2.5	40
2	16	2.5	40
SUBTOTAL			**80**

Tabla 4.6 Costos de mano de obra

4.2.3 Costos de diseño

Este valor corresponde al costo hora/hombre que se dedica al diseño e ingeniería de la máquina, uno de los métodos más usados para estimar el costo de diseño es el que se basa en el porcentaje del costo de la máquina una vez construida que para este caso será del 20%.

4.2.4 Costos de situaciones imprevistas.

Este valor corresponde al costo debido a situaciones imprevistas dentro del desarrollo, construcción y montaje de la máquina. Por lo general este costo se lo ubica en un rango del 5% al 10% del valor presupuestado del proyecto, para este caso tomaremos el 5%.

4.2.5 Costo Total

El costo total es el resultado de los subtotales de los costos antes descritos, como se indica en la Tabla 4.5

DESCRIPCIÓN	VALOR [$]
Costos de Materiales Manufacturados	507.5
Costos de Elementos Normalizados	510.7
Costo de Mano de Obra	80
Costo de Diseño	219.64
Costo de Imprevistos	54.91
COSTO TOTAL	1372.75

Tabla 4.7 Costo Total de la Prensa

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Se cumple con el objetivo principal, el cual es diseñar y construir una prensa calefactora para pegado de bandas planas sintéticas con elementos o materiales locales, logrando con esto un precio más competitivo de fabricación.

- Al comparar el funcionamiento real observado en la prensa con los datos expuestos en el diseño teórico, específicamente en la etapa de calentamiento (que es la más importante durante el proceso de pegado), se puede apreciar que existe un margen de error mínimo entre el tiempo calculado y el tiempo real en el que la placa calefactora llega a la temperatura deseada, dichos resultados permiten determinar que el diseño como tal es satisfactorio.

- De acuerdo a lo observado en las pruebas de funcionamiento, se puede comprobar el buen desempeño de los diferentes sistemas que conforman la prensa, al obtener un empalme de las bandas con características similares a productos importados.

- El sistema de control de temperatura para las etapas de enfriamiento y calentamiento, tiene una programación que permite que el proceso sea semiautomático, ésto facilita el trabajo del operador, al no tener que supervisar el proceso de forma continua, debido a que solamente debe establecer los parámetros de pegado al inicio del proceso.

- El control semiautomático del proceso de pegado, permite establecer parámetros y secuencias lógicas de ejecución del mismo (Trabajo Estandarizado), y considera la información brindada por los distintos fabricantes de bandas de una manera correcta y precisa.

5.2 Recomendaciones

- Se debe asegurar que la superficie de la placa calefactora que se encuentre en contacto con la banda sea lo suficientemente liza para no ocasionar imperfecciones en esta.

- Se debería en lo posible, realizar el diseño con elementos normalizados y de esta manera disminuir los costos maquinado de ciertos elementos.

- Se recomienda seguir el procedimiento descrito en el trabajo estandarizado para asegurar un correcto proceso de empalme de las bandas de tal forma que no se genere ningún tipo de falla en el producto terminado.

- Verificar que los parámetros de pegado que han sido programados en los controladores son los óptimos y recomendados por el fabricante de bandas para la realización de la junta

- Verificar que las conexiones eléctricas se encuentren de acuerdo al esquema mostrado en el dispositivo de control para evitar posibles confusiones al momento de utilizar el equipo, además se debe comprobar siempre el buen estado de dichas conexiones (cableado y enchufes).

- Se debería evitar que el equipo no sobrepase la temperatura máxima recomendada de 170 ºC ya que puede ocasionar deterioro en los elementos eléctricos internos de la prensa.

- Tomar las medidas de seguridad necesarias al momento de manipular el dispositivo de control, ya que este funciona con voltajes y corrientes altas que puede afectar seriamente la salud de la persona.

- Realizar cualquier tipo de mantenimiento de la máquina bajo la supervisión de una persona calificada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- SHIGLEY, J. "*Manual de Diseño Mecánico"*, Editorial McGraw-Hill, Cuarta Edición 1989.

- SHIGLEY, J. "Manual de Diseño Mecánico", Editorial McGraw-Hill, Octava Edición 2006.

- MIROLIUBOV,I. "*Problemas de Resistencia de Materiales",* Traducción al Español, Edições Os Bandeirantes São Paulo-Brazil, 1985.

- Beer, F. y Johnston, E. "*Mecánica de materiales*". McGraw-Hill, Interamericana, S.A, Cuarta Edición,1993.

- INCROPERA, Frank. "*Fundamentos de Transferencia de Calor"*, Prentice Hall, Cuarta Edición, 1999.

- FORBO SIEGLING GmbH, "*Bandas de Transporte*"*,* Forbo Siegling, Alemania, 2000.

- BELTSERVICE CORPORATION, "Catalogo de Productos y Servicios", NIBA, México.

- CHIORINO, "*Catalogo General",* Chiorino, México, 2009.

- RAPPLON-AMMERAAL BELTECH, "*Catalogo de Dispositivos de Preparación y Pegado de Bandas"*, Switzerland, 2007.

- RAPPLON, "*Instrucciones para el empalme",* LEDER BELTECH, Manchester, 2007.

- COMIND componentes industriales LTDA., "*Manual del usuario Controlador de temperatura HY1000-2000-3000"*, COMIND, Santiago-Chile.

- ARNOLDO GALETTO, "*Dispositivos de control de temperatura",* JM Industrial, México.

- COLDFUSION X ELECTRONICS, "Temperature Controller JLD-612", EEUU.

- BANDAS TARRAGONA, "*Empalme de Bandas",* Tarragona SL. www.bandastarragona.com.

- HABASIT, "*Correas de Transmisión",* 2011. http://www.habasit.com/link.asp?FI=2088.html&page=http://www.habasit.com/link.asp%3FFI=772.html

- HABASIT, "*Bandas Planas Trasnportadoras",* 2011. http://www.habasit.com/link.asp?FI=2088.html&page=http://www.habasit.com/link.asp%3FFI=772.html

- REPRINTER, *"Bandas Planas Transportadoras",* 2011. http://www.reprinter.com.ec/modulo.php?option=productos&cid=2&pid=61

- CHIORINO, *"Tipos de Empalmes",* 2011. http://www.chiorino.com/spa/pr_giunzionamento.htm

- TECNICA INDUSTRIALE, *"Equipo para empalme sin fin",* 2009. http://www.productosindustriales.es/equipo_para_el_empalme_sin_fin.htm

- PROVINDUS, "Resistencias Industriales", 2011. http://www.provindus.com.py/Contenidos/Productos/Eltra/Catalogos/ELTRA_Catalogo.pdf

- ALPHA CALOR INDUSTRIAL, "*Resistencias eléctricas"*, 2010. http://www.everyoneweb.com/alphacalor/

- GARCIA JOSE, "*Así funciona –Que es la resistencia eléctrica ", 2011.* http://www.asifunciona.com/electrotecnia/ke_resistencia/ke_resistencia_1.htm

- JM Industrial Technology S.A. de C.V, "*Resistencias tipo cartucho de baja y alta concentración"*, 2009. http://www.jmi.com.mx/resistencias.htm

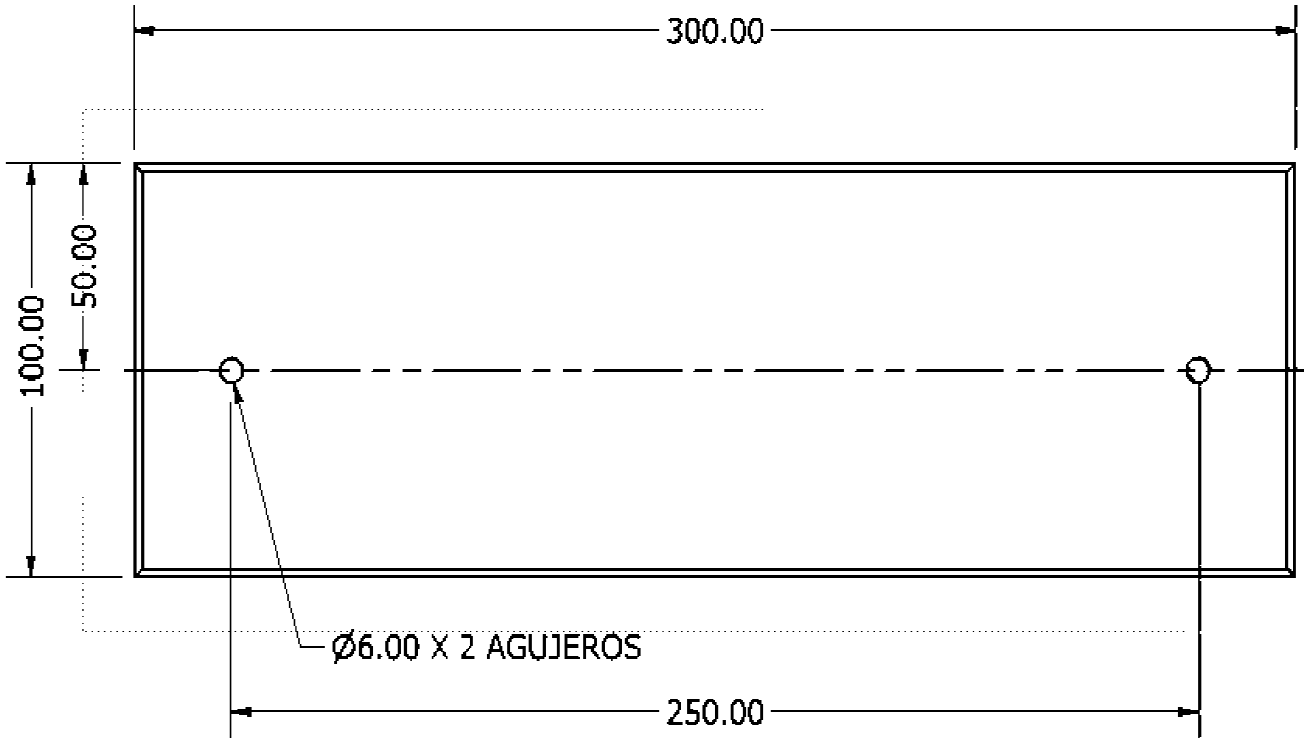
- RESISTENCIAS CALOR INDUSTRIAL S.L., "*Resistencia chapa plana"*, 2011. http://www.resistencias-rci.es/pdf/fabricacion/rch.pdf

- ESCALONA IVAN, *"Termómetros en la Instrumentación y Control Industrial", 2010.* *http://www.monografias.com/trabajos14/termoins/termoins.shtml*

- UDEC, "*Mecanismos de transferencia de calor"*, 2009. *http://www2.udec.cl/~jinzunza/fisica/cap14.pdf*

ANEXO A

MUNDIAL DE RESISTENCIA



ESPECIFICACIONES

- Niquelina Plana
- Largo 300 mm
- Ancho 100 mm
- Recubrimiento de acero inoxidable
- Potencia nominal 750 W
- Voltaje: AC 220 V

ANEXO B

ΩOMEGA
PASAJE ELECTRÓNICO

Ventilador

COOLER MASTER - 6cm

ESPECIFICACIONES

- Flujo de aire: 9 CFM
- Velocidad: 1500 rpm
- Nivel de ruido: 25 Dba
- Voltaje: DC 12v
- Consumo de energía: 0.9W
- Corriente: 180 mA
- Tamaño del ventilador: 6cm diámetro

ANEXO C

INSTRUCCIONES DE EMPALME									
BANDA TIPO	**(*) TEMPERATURA SUPERIOR [ºC]**	**(*) TEMPERATURA INFEIOR [ºC]**	**PRESION [BAR]**	**ZONA 1**	**ADHESIVO 1**	**ZONA 2**	**ADHESIVO 2**	**ZONA 3**	**ADHESIVO 3**
TT	100	100	2	Tejido	118 N	Poliamida	118 N	Tejido	118 N
GT	100	100	2	Tejido	118 N	Poliamida	118 N	Goma	600
(**) GG	100	100	2	Goma	600	Poliamida	118 N	Goma	600
LT	100	100	2	Tejido	118 N	Poliamida	118 N	Cuero	2 x 103 L
LL	100	100	2	Cuero	2 x 103 L	Poliamida	118 N	Cuero	2 x 103 L
(*) Las temperaturas establecidas en esta Tabla se encuentran referenciadas a nivel del mar (**) Existen bandas tipo GG de la serie E las cuales necesitan de otro tipo de proceso de pegado, para lo cual se recomienda investigar los parámetros adecuados para la junta en el catalogo del fabricante									

Tabla C.1 Instrucciones de Empalme

APLICACION DE PEGAMENTOS O ADHESIVOS SOBRE LAS SUPERFICIES DE EMPALME		
TIPO DE SUPERFICIE DE EMPALME	**ADHESIVO**	**METODO DE APLICACIÓN**
CUERO	103 L	Raspar las superficies de empalme con cepillo-raspador. Untar pegamento 103 L con un pincel y dejar secar por 20 minutos Untar 103 L otra vez, dejar ventilar durante 10 minutos.
GOMA	600	Untar ligeramente el pegamento 600 con espátula.
TEJIDO Y POLIAMIDA	118 N	Repartir bien y cuidadosamente con un pincel el pegamento 118 N en una capa fina y dejar penetrar 2 a 5 minutos antes de insertar el empalme en la prensa.
Observaciones: - Los frascos de pegamento tienen que ser cerrados inmediatamente después de uso. -Hay que limpiar los pinceles usados para diferentes recipientes con alcohol comercial.		

Tabla C.2 Aplicación de pegamentos o adhesivos sobre las superficies de empalme

Fuente: RAPPLON, "*Instrucciones para el empalme",* LEDER BELTECH, Manchester, 2007.

ANEXO D

Manual de Controlador de Temperatura JLD-612

El controlador de temperatura JLD-612 es un dispositivo digital de doble display como se observa en la Figura 1, el cual incluye un sistema de control PID para una mejor respuesta. A continuación se detallan sus componentes y funcionamiento:

Figura 1. Controlador de Temperatura JLD-612

Características Principales del Controlador

- Soporta múltiples sensores como: Termocuplas tipo T, R, J, B, S, K, E, Wre3-Wre25, Termo-resistores Pt100 o Cu50.
- 1 Salida a Relé.
- 1 Salida a Relé con PID.
- 1 Salida a SSR con PID para control externo SSR.
- Tiempo de salida proporcional PID controlado para una salida de relé o la salida de control de RSS.
- Nuevo algoritmo que permite afinar o autoajustar el dispositivo para adaptarse a cualquier aplicación u objeto de control.
- La temperatura puede mostrarse en el display tanto en grados Fahrenheit o Celsius.

Especificaciones

- Voltaje de Operación: AC 20-265V o DC 20-360V.
- Consumo de Energía: menor o igual a 2W.
- Velocidad de muestreo: 4/seg.
- Voltaje de activación de SSR: Circuito abierto: 8V; circuito cerrado: 40mA.
- Precisión: 0.2% de la escala completa.
- Display LED: 0.28 pulgadas color rojo.
- Indicación de fuera de rango: “EEEE”.
- Requisito de la temperatura ambiente: 0~+50 ºC.
- Requerimiento de humedad: menor o igual a 85% RH
- Capacidad de contacto de relé: AC 220V / 3A.
- Dimensión del controlador: 48 x 48 x 82 (mm)

Descripción y Panel Frontal

La ilustración del panel frontal se encuentra en la Figura 2

Figura 2. Panel Frontal del Controlador

1. AL1, Indicador J1 de relé.
2. AL2, Indicador J2 de relé.
3. AT, indicador de sincronización automática.
4. Out, indicador de salida.
5. Set. / Confirmar.
6. Selector Digital / Auto-ajuste.
7. Seleccionar siguiente parámetro / incrementa valor.
8. Selección de parámetro anterior / decrementa valor.
9. Valor de “Set Point”.
10. Valor actual.

Ingreso de Parámetros de Iniciación

1. Presionar (SET) para ingresar al modo de programación, ingresar “0089”, luego presionar (SET) nuevamente.
2. Presionar (□) y/o (□) y luego (SET) para seleccionar los parámetros.
3. Presionar (SET) para confirmar el parámetro ingresado o para seleccionar otro.
4. Presionar (□) hasta que aparezca la palabra “END” en color rojo en el Display para salir del modo de programación.

En la Tabla 1. se tiene la programación de los parámetros del lazo de inicialización

SIMBOLO	DESCRIPCIÓN	RANGO	PREDEFINIDO	COMENTARIO
Inty	Sensor de Temp.\	Ver Tabla 2.3	Pt 10.0	
Outy	Método de salida controlada	0,1,2	2	Note 1
Atdu	Auto-ajuste	0-200	10	Note 2
PSb	Coeficiente de corrección de error del sensor de Temp.	-1000~1000 ºC	0	
Rd	Calentamiento=0; Enfriamiento=1	0,1	0	
CorF	Celsius=0; Fahrenheit=1	0,1	0	
End	Salida			

Tabla 1. Parámetros de inicialización

En la Tabla 2. se tiene información para el uso de los distintos tipos de sensor de temperatura.

SIMBOLO	DESCRIPCIÓN	RANGO	COMENTARIO
T	Termocupla Tipo T	-200~4000	Resistencia Interna 100K
R	Termocupla Tipo R	-50~1600	Resistencia Interna 100K
J	Termocupla Tipo J	-200~1200	Resistencia Interna 100K
WRe	Termocupla Tipo WRe	0~2300	Resistencia Interna 100K
B	Termocupla Tipo B	350~1800	Resistencia Interna 100K
S	Termocupla Tipo S	-50~1600	Resistencia Interna 100K
K	Termocupla Tipo K	-200~1300 ºC -328~2372 ºF	Resistencia Interna 100K
E	Termocupla Tipo E	-200~900	Resistencia Interna 100K
P10.0	Termo-resistor P100	-200.0~600.0	Constante Output 0.2mA
P100	Termo-resistor Pt100	-200~600	Constante Output 0.2mA
Cu50	Termo-resistor Cu50	-50.0~150.0	Constante Output 0.2mA

Tabla 2. Información para el uso de los distintos tipos de sensor de temperatura.

- *Nota 1:*

  0: Relé J1 y J2 como salidas de alarma; SSR deshabilitado, normalmente usado para la alarma de control de disparo en los límites superior o inferior.

  1: Alarma de salida de Relé J1; Salida controlada con PID J2 y los valores SV, AH2, AL2 no son usados; Deshabilitado salida de control SSR.

  2: Relé J1 y J2 como salidas de alarma; Salida SSR de 8V controlada con PID.

- *Nota 2:*

  Este controlador ha mejorado sus algoritmos para evitar el exceso de calibración durante el autoajuste. La programación de los parámetros de inicialización se encuentra en la Figura 3.

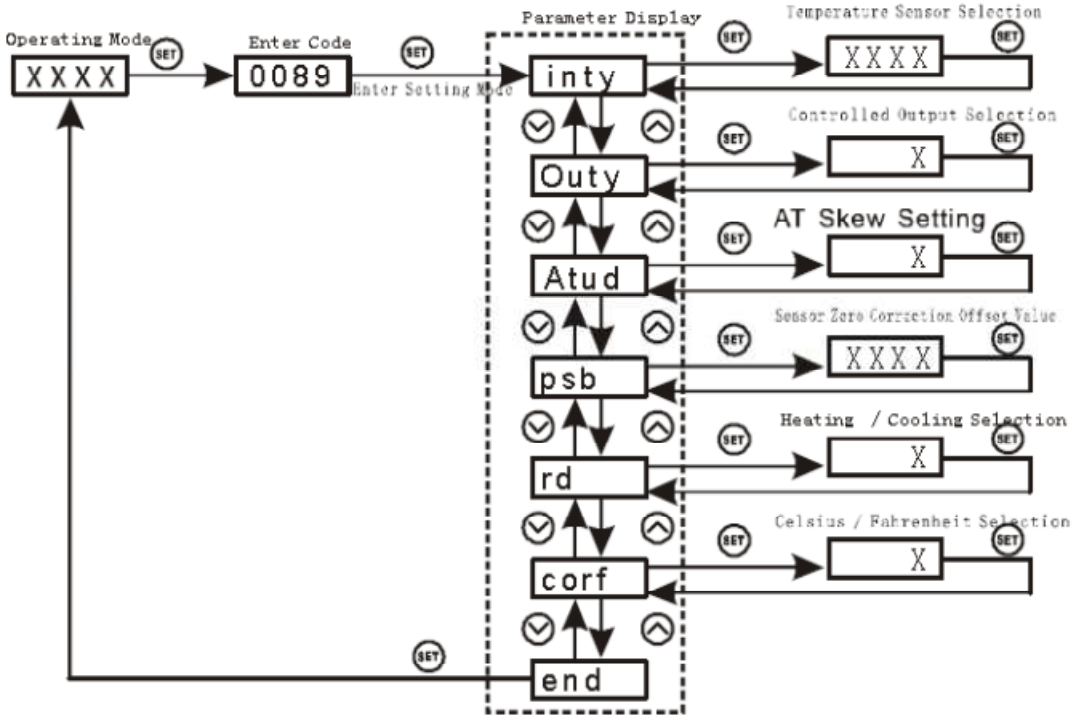


Figura 3. Programación de Parámetros de Inicialización

Ingreso de Parámetros para el Control PID

Para ingresar los parámetros de operación del modo de control PID presionar (SET), luego ingresar el código “0036”, presionar (SET) nuevamente.

En la Tabla 4. se tienen los parámetros relevantes para el control PID.

SIMBOLO	DESCRIPCIÓN	RANGO	PREDEFINIDO	COMENTARIO
P	Banda proporcional	0.1~99.9 %	5.0	Nota 4
I	Tiempo de Integración	2~1999 seg	100	Nota 5
D	Tiempo de diferenciación	0~399 seg	20	Nota 6
SouF	Coeficiente de supresión de sobre impulso	0.0 ~1.0	0.2	Nota 7
Ot	Periodo de Control	2~199 seg	2	Nota 8
Filt	Filtro de Fuerza Digital	0~3	0	Nota 9
End	Salida			

Tabla 4. Parámetros para el Control PID

Los parámetros P, I y D, controlan la exactitud y tiempo de respuesta del controlador de temperatura.

El Auto-ajuste es recomendado para usuarios quienes no están familiarizados con la teoría del control PID. Los valores de P, I y D deben ser ajustados solo por profesionales.

- *Nota 4:*

  Banda Proporcional (P): cuando P incrementa, la fluctuación del objeto que está siendo controlado decrece. Cuando P decrece, la fluctuación del objeto que está siendo controlado incrementa. Cuando el valor de P es demasiado pequeño, el sistema llega a ser no convergente.

- *Nota 5*

  Tiempo de integración (I): su propósito es reducir el error en estado estable. Cuando I decrece, la velocidad de respuesta es rápida pero el sistema se vuelve menos estable. Cuando I incrementa, la velocidad de respuesta es menor, pero el sistema es más estable.

- *Nota 6*

  Tiempo de diferenciación (D): su propósito es controlar adelantos y compensar tiempos de retardo. Programando D en un valor muy pequeño o muy largo incrementaría la estabilidad del sistema, oscilaciones o incluso la no convergencia.

- *Nota 7*

  Coeficiente de supresión de sobre-impulso: Cuando existe un sobre-impulso, incrementa el valor de SouF. Cuando existe un sub-impulso, el valor de SouF disminuye. Este comportamiento se lo puede apreciar en la Figura 4.

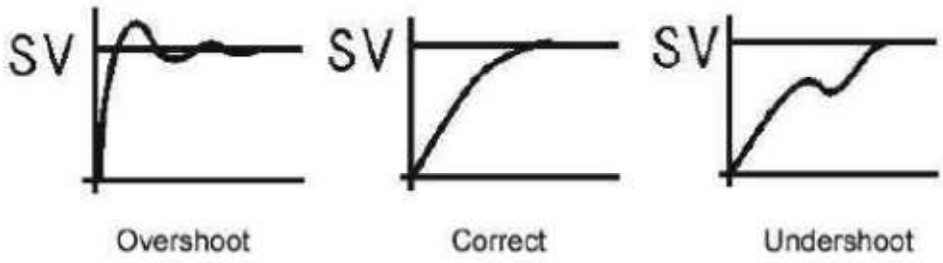


Figura 4. Comportamiento de sobre-impulso y sub-impulso

- *Nota 8*

  Periodo de Control (Ot): cuando Ot es pequeño, los ciclos de calentamiento/enfriamiento son manejados rápidamente y la velocidad de respuesta del sistema es mayor. Pero cuando el control de contacto (Relé), los contactos se desgastan más rápido.

  Cuando el control de contacto (Relé) es usado, normalmente se programa Ot = 5~ 15.
  Cuando el control sin contacto (SSR) es usado, normalmente se programa Ot = 2.

- *Nota 9*

  Filtro Digital (Filt): Filt=0, filtro desactivado; Filt=1, efecto débil del filtro; Filt=3, efecto más fuerte del filtro. Mientras más fuerte es el filtro, mas estable es la lectura, pero tiene un mayor retraso en la lectura que muestra se muestra en el display.

Ingreso de Valores de Temperatura y Parámetros de Alarmas

Para ingresar al modo de programación de temperatura y parámetros de alarma presionar (SET), luego ingresar el código “0001”, y presionar (SET) nuevamente. En la Tabla 5. se encuentran los parámetros de programación de temperatura y alarma.

SIMBOLO	DESCRIPCIÓN	RANGO	PREDETERMINADO
SV	Temperatura de Set Point	Con rango de prueba	80
AH1	Relé cerrado	Con rango de prueba	80

AL1	Relé abierto	Con rango de prueba	80
AH2	Relé cerrado	Con rango de prueba	80
AL2	Relé abierto	Con rango de prueba	90
END	Salir		

Tabla 5. Parámetros de programación de temperatura y alarma

Durante el modo de operación normal, presionando (□) o (□), el display mostraría SV. Presionar nuevamente (□) o (□) incrementa o decrece SV en un grado.
En la Figura 5. se puede observar el comportamiento del lazo de control para la activación de alarmas de tal manera que:

a) Programar AH1=AL1, relé esta desactivado

b) Programar AH1>AL1 (o AH2>AL2): Normalmente usado para activar alarma de límite superior, ver Figura 5 a.)

Programar AH1<AL1 (o AH2<AL2): Normalmente usado para activar alarma de límite inferior, ver Figura 5 b.)

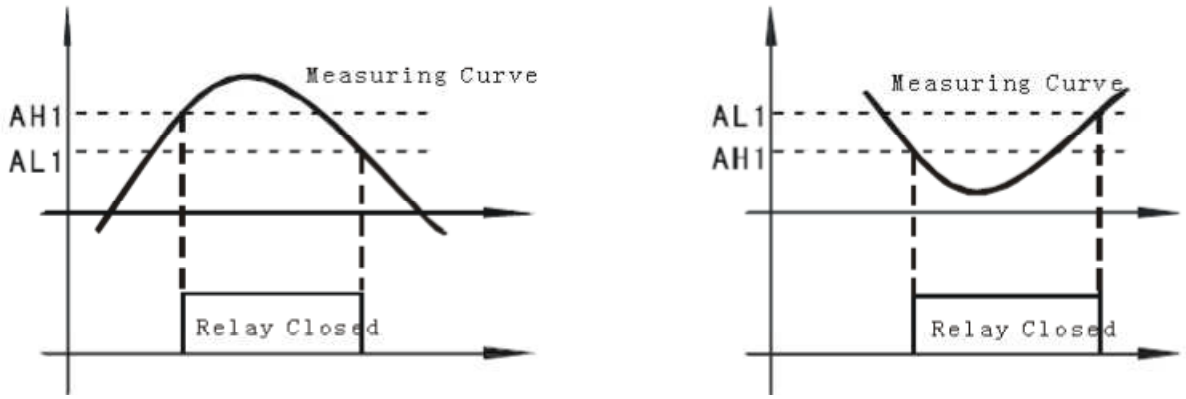


Figura 5 a) Activación de alarma de límite superior, b) Activación de alarma de límite inferior

Calibración Automática

Con sólo pulsar un botón incorporado, la inteligencia artificial se activa de forma automática para calcular y fijar los parámetros (P, I, d, Souf, Ot) que ajustan las condiciones de control. En la Figura 6. se puede apreciar el diagrama de funcionamiento de la calibración automática.

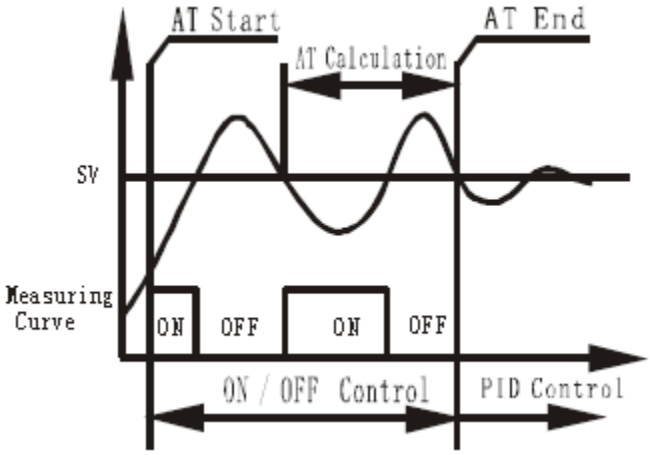


Figura 6. Diagrama de funcionamiento del modo de calibración automática

Para activar el proceso de calibración automática se siguen los siguientes pasos:

1) Para activar la calibración automática, presionar y mantener (>) hasta que el indicador “AT” parpadee, lo cual indica que la calibración automática esta en proceso. Cuando la calibración automática termina, el indicador “AT” se apaga. Ahora nuevamente calculados los parámetros PID, estos son guardados y están listos para ser usados.

2) Para salir durante un proceso de calibración automática, presionar y mantener (>) hasta que el indicador “AT” se apague. Entonces se reanudarán los valores de los parámetros de PID anteriores.

Conexión de Terminales en Panel Trasero

En la Figura 7. se puede observar el panel trasero del controlador y los slots de conexión.

La polaridad de los terminales de energía 1 y 2 no tienen importancia.

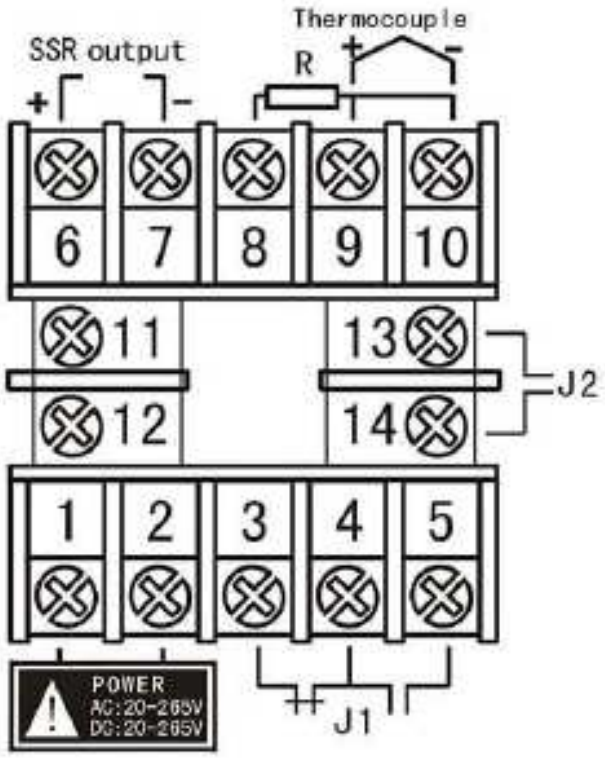


Figura 7. Panel trasero del Controlador

ANEXO E