



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

**Modernización de una máquina de fabricación artesanal de planchado textil para servicio  
en la ciudad de Otavalo - provincia de Imbabura**

Cadena Lucero, Álvaro Darío y Laguna Cumbal, Bryan Bladimir

Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones  
Carrera de Ingeniería en Electrónica, Automatización y Control

Trabajo de Titulación, previo a la obtención del título de  
Ingeniero en Electrónica, Automatización y Control

Ing. Ortiz Tulcán, Hugo Ramiro. Mgs

23 de julio del 2021



## Document Information

Analyzed document	Urkund_Cadena_Lagua.docx (D110676601)
Submitted	7/22/2021 10:28:00 PM
Submitted by	Ortiz Tulcán Hugo Ramiro
Submitter email	hrtortiz@espe.edu.ec
Similarity	2%
Analysis address	hrtortiz.espe@analysis.orkund.com



## Sources included in the report

<b>SA</b>	<b>Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE / TESIS_OSWALDO_VIZUETE.docx</b> Document TESIS_OSWALDO_VIZUETE.docx (D26123323) Submitted by: hrtortiz@espe.edu.ec Receiver: hrtortiz.espe@analysis.orkund.com		1
<b>W</b>	URL: <a href="https://lahora.com.ec/noticia/1102020916/la-tradicin-de-confeccionar-ropa-indgena-en-otavaloLAFAYATTE">https://lahora.com.ec/noticia/1102020916/la-tradicin-de-confeccionar-ropa-indgena-en-otavaloLAFAYATTE</a> . Fetched: 7/22/2021 10:29:00 PM		1
<b>W</b>	URL: <a href="https://www.lafayette.com/conoces-los-tipos-de-tejido-existentes/#:~:text=1,formando%20entre%20s">https://www.lafayette.com/conoces-los-tipos-de-tejido-existentes/#:~:text=1,formando%20entre%20s</a> Fetched: 7/22/2021 10:29:00 PM		2
<b>W</b>	URL: <a href="http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0176_ME.pdf">http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0176_ME.pdf</a> Fetched: 4/12/2021 7:54:54 PM		19
<b>SA</b>	<b>TESIS-ESCRITO-RASCADOR-2015-PARTE-I.docx</b> Document TESIS-ESCRITO-RASCADOR-2015-PARTE-I.docx (D15461613)		1
<b>W</b>	URL: <a href="https://publicaciones.fctunca.edu.py/jspui/bitstream/123456789/43/1/PFG_JUAN_RAMON_CORONEL_VERA.pdf">https://publicaciones.fctunca.edu.py/jspui/bitstream/123456789/43/1/PFG_JUAN_RAMON_CORONEL_VERA.pdf</a> Fetched: 5/1/2020 12:40:20 AM		2
<b>W</b>	URL: <a href="https://docplayer.es/9317419-Automatizacion-de-una-extrusora-monohusillo-para-trabajar-materiales-plasticos-y-compuestos-luis-felipe-aragon-dominguez-juan-david-espitia-castillo.html">https://docplayer.es/9317419-Automatizacion-de-una-extrusora-monohusillo-para-trabajar-materiales-plasticos-y-compuestos-luis-felipe-aragon-dominguez-juan-david-espitia-castillo.html</a> Fetched: 11/26/2019 8:30:44 AM		1
<b>W</b>	URL: <a href="https://www.tc-sa.es/termopares-informacion/termopares-informacion-tecnica.html">https://www.tc-sa.es/termopares-informacion/termopares-informacion-tecnica.html</a> Fetched: 7/22/2021 10:29:00 PM		4
<b>SA</b>	<b>Máquina universal de ensayos destructivos-Instrumentación y control-Valencia Felit o.pdf</b> Document Máquina universal de ensayos destructivos-Instrumentación y control-Valencia Felit o.pdf (D40651216)		1
<b>W</b>	URL: <a href="https://electricidadindustriales.files.wordpress.com/2014/05/automatismos_electricos_con_co ntactores.pdf">https://electricidadindustriales.files.wordpress.com/2014/05/automatismos_electricos_con_co ntactores.pdf</a> Fetched: 10/24/2020 10:06:31 AM		2
<b>W</b>	URL: <a href="https://www.diariocorreo.com.ec/5064/portada/el-anaco-la-prenda-que-caracteriza-a-las-mujeres-indigenasCotacachi">https://www.diariocorreo.com.ec/5064/portada/el-anaco-la-prenda-que-caracteriza-a-las-mujeres-indigenasCotacachi</a> , Fetched: 7/22/2021 10:29:00 PM		2



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y  
CONTROL**

**CERTIFICACIÓN**

Certifico que el trabajo de titulación, “**Modernización de una máquina de fabricación artesanal de planchado textil para servicio en la ciudad de Otavalo - provincia de Imbabura**” fue realizado por los señores **Cadena Lucero Álvaro Darío y Laguna Cumbal Bryan Bladimir** el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 23 de julio de 2021



**Ing. Ortiz Tulcán Hugo Ramiro Mgs.**

C. C. 17077221591



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y  
CONTROL**

**RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA**

Nosotros, **Cadena Lucero, Álvaro Darío** y **Lagua Cumbal, Bryan Bladimir** con cédulas de ciudadanía n° 1723078687 y n° 1723296008, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Modernización de una máquina de fabricación artesanal de planchado textil para servicio en la ciudad de Otavalo - provincia de Imbabura** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

**Sangolquí, 23 de julio de 2021**

**Cadena Lucero Álvaro Darío**

C.C.: 1723078687

**Lagua Cumbal Bryan Bladimir**

C.C.: 1723296008





**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA,  
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

**AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN**

Nosotros, **Cadena Lucero, Álvaro Darío** y **Lagua Cumbal, Bryan Bladimir** con cédula de ciudadanía n° 1723078687 y n° 1723296008, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Modernización de una máquina de fabricación artesanal de planchado textil para servicio en la ciudad de Otavalo - provincia de Imbabura** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi/nuestra responsabilidad.

**Sangolquí, 23 de julio de 2021**

**Cadena Lucero Álvaro Darío**

C.C.: 1723078687

**Lagua Cumbal Bryan Bladimir**

C.C.: 1723296008

## Dedicatoria

Dedicado a mis padres Manuel Cadena y Marcela Lucero, porque siempre han sido el sustento y motivo de mi esfuerzo, cuyos valores y enseñanzas inculcados serán los faros que guían y guiarán mi vida para ser una mejor persona cada día. Los amo demasiado.

A mis hermanos Víctor y Sandra, que son mi ejemplo a seguir desde pequeño, pues la sabiduría y enseñanzas de mis padres se refleja en ellos, siendo siempre personas admirables en mi vida, que siempre me han dado ánimo de seguir adelante y que me han demostrado que ni el cielo es el límite.

A mi tío Antonio Lucero, porque siempre ha sido inspiración de ingenio, disciplina, amor y dedicación por las cosas las cuales te apasionan. Y que, con mis abuelos, mi tía Michita y ahora con mi tío Vicente me cuidan desde el cielo y vivirán en mi corazón eternamente.

Al resto de mi familia, por estar pendientes de mí y darme alientos en todo momento, especialmente a mis tíos Marianita y Edgar.

Finalmente, a las personas que he conocido en mi transcurso en esta prestigiosa y querida universidad, mis compañeros y amigos de carrera Bryan, Enver, Adri, Brenda y Mel; y a mis amigos de telecomunicaciones Mario, Santi, Steven y a mi gran amigo César. Todos juntos han sido y serán personas a las que aprecio y estimo demasiado pues se convirtieron en la segunda familia con la que juntos atravesamos este camino de aprendizaje y que vivimos muchos momentos inolvidables, que ahora serán recuerdos que los llevaré para toda la vida.

Álvaro Cadena

## **Dedicatoria**

El presente trabajo está dedicado a Dios, por darme la fuerza para continuar a pesar de las adversidades atravesadas durante este proceso.

A mis padres, Miriam Cumbal y Bladimir Laguna quienes con su esfuerzo y amor me han apoyado para cumplir uno de mis más grandes objetivos de vida, porque con su ejemplo de lucha me han enseñado a no rendirme. Gracias por su apoyo y cariño.

A mis abuelitos, Luis Cumbal y María Flores por estar siempre en los momentos más importantes de mi vida. Este trabajo es consecuencia de su sabiduría y enseñanza, de su ejemplo de trabajo arduo, honestidad, justicia y liderazgo. A pesar de que no se encuentren más conmigo esta tesis es dedicada a ustedes, muchas gracias por confiar ciegamente en mí y darme la oportunidad de creer en mí mismo.

A mi hijo Nicolás, quien se ha convertido en mi más grande apoyo, fuerza y motivación para cada día seguir adelante superándome y convirtiéndome en su guía de vida. Gracias por enseñarme a ver la vida desde un punto más simple y feliz.

Al resto de mi familia, este trabajo está dedicado a ustedes por sus palabras de aliento y oraciones que siempre me acompañan.

Finalmente quiero dedicar a Josselyn por su apoyo y confiar en que saldría adelante, a mis amigos con quienes hemos estado hombro a hombro esforzándonos por culminar nuestra carrera, por extenderme la mano en los momentos difíciles.

Bryan Laguna

### **Agradecimiento**

Agradecemos en primer lugar a Dios quien ha guiado nuestros pasos y nos ha brindado fortaleza y sabiduría en todo momento.

Un agradecimiento especial al señor Edgar Bolaños propietario del negocio y maquinaria de planchado textil por confiar en nosotros y permitirnos llevar a cabo este trabajo de investigación.

De igual manera queremos agradecer a Daniel Bolaños y Luis Castro por su predisposición y apoyo, al estar pendientes de lo que fuera necesario para sacar adelante este proyecto.

Agradecemos finalmente a nuestro tutor, el Ing. Hugo Ortiz, Mgs, quien supo orientarnos, y apoyarnos con su conocimiento para desarrollar y culminar este proyecto. De igual forma gracias a la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE y a sus profesionales quienes ayudaron a nuestra formación profesional y carácter para enfrentar de la mejor manera cualquier circunstancia que se pueda presentar en nuestra próxima vida profesional.

Álvaro Cadena

Bryan Laguna



## Tabla de Contenidos

Carátula.....	1
Hoja de Resultados de la Herramienta Urkund.....	2
Certificación de Trabajo de Titulación .....	3
Responsabilidad de Autoría .....	4
Autorización de Publicación .....	5
Dedicatoria .....	6
Dedicatoria .....	7
Agradecimiento .....	8
Tabla de Contenidos.....	9
Índice de Tablas.....	16
Índice de Figuras .....	19
Resumen.....	24
Abstract .....	25
Capítulo I.....	26
Generalidades.....	26
Antecedentes .....	26
Justificación e Importancia.....	28
Alcance.....	29
Objetivos.....	31
Objetivo General.....	31

Objetivos Específicos .....	31
Capítulo II.....	32
Fundamentación Teórica .....	32
Indumentaria Indígena de Otavalo .....	32
Vestimenta Tradicional Actual de la Mujer Otavaleña.....	33
Vestimenta de Hombre Otavaleño .....	38
Fibras y Tejidos Textiles .....	40
Fibra Textil .....	40
Clasificación de las Fibras Textiles.....	41
Propiedades de los Textiles .....	43
Fibra Textil Ideal .....	51
Tejido .....	52
Proceso de Planchado .....	55
Tipos de Planchas .....	56
Mecanismos de Transferencia de Calor .....	58
Temperatura Segura de Planchado .....	59
Características de los Tejidos de Acuerdo a su Origen de las Prendas de la Vestimenta Otavaleña.....	60
Motores Eléctricos.....	65
Tipos de Arranques de Motores Trifásicos.....	66
Arranque Directo .....	66

Arranque Estrella-Triangulo .....	67
Arranque con Resistencias Estatóricas .....	69
Arranque con Autotransformador.....	70
Protecciones para el Control de un Motor .....	72
Protección Contra Sobrecargas .....	72
Protección Contra Cortocircuitos y Fallos a Tierra .....	73
Sensores de Temperatura .....	74
Sensores y Actuadores .....	74
Sensores de Temperatura.....	75
Características de los Sensores de Temperatura .....	77
Técnicas de Control de Temperatura más Usados.....	78
Control On-Off .....	78
Control Proporcional.....	79
Control Proporcional, Integral y Derivativo .....	80
Controladores en el Mercado.....	81
Controlador Lógico Programable PLC .....	81
Relé Programable.....	82
Módulo de Expansión para Control de Temperatura.....	84
Tarjetas de Adquisición de Datos .....	84
Controlador Dedicado de Temperatura .....	85
Protecciones Eléctricas.....	86

Protección contra Cortocircuitos y Sobrecargas.....	86
Protección contra Electrocuación.....	88
Normas para el Diseño Eléctrico y de Control.....	88
Instalación de Puesta a Tierra .....	89
Capítulo III.....	92
Ingeniería Básica .....	92
Estado Inicial de la Máquina de Planchado Textil de Fabricación Artesanal .....	92
Generalidades .....	92
Etapa Eléctrica antes de la Modernización.....	92
Diagrama Unifilar de la Máquina de Planchado antes de la Modernización.....	98
Etapa de Sensado antes de la Modernización .....	98
Etapa de Control antes de la Modernización .....	99
Etapa de Operación antes de la Modernización.....	100
Diseño de la Modernización de la Máquina de Planchado Textil de Fabricación Artesanal .....	101
Diseño de Etapa Eléctrica.....	101
Diagrama Esquemático de la Máquina de Planchado Modernizada .....	106
Diagrama Unifilar de la Máquina de Planchado Modernizada .....	106
Diseño de Etapa de Sensado .....	106
Diseño de Etapa de Control .....	125
Diseño de Etapa de Operación .....	136

Capítulo IV .....	138
Ingeniería en Detalle.....	138
Etapa Eléctrica .....	138
Elementos de Protección y Maniobra .....	138
Dimensionamiento de Conductores .....	140
Puesta a Tierra .....	142
Lógica de Control .....	142
Control del Giro del Motor .....	142
Control del Proceso de Calentamiento .....	144
Autosintonización .....	149
Etapa de Operación .....	151
Diseño de la HMI.....	151
Diseño de Operación del Tablero de Control. ....	160
Tablero Eléctrico y de Control.....	161
Diagrama de Ubicación Física de los Elementos en el Tablero de Control.....	162
Diagrama de Borneras .....	162
Diagrama de Entradas y Salidas.....	162
Capítulo V .....	163
Implementación.....	163
Implementación de Dispositivos y Elementos para Automatización.....	163
Implementación del Tablero de Control.....	163

Implementación de Puesta a Tierra .....	171
Implementación de Alimentación y Sensores en planchas .....	173
Programación del Controlador Xinje .....	174
Descripción del Software.....	174
Instalación de XCP-Pro .....	174
Configuración del Software para la Programación del PLC Xinje .....	175
Programación del Controlador .....	179
Tabla de Registros .....	181
Implementación de Interfaz Hombre – Máquina .....	181
Descripción del Software.....	182
Instalación de Kinco HMIware.....	182
Configuración del Software de la Interfaz Humano-Máquina.....	182
Capítulo VI .....	188
Puesta en Marcha.....	188
Configuración de Valores de Proceso y Parámetros de Control .....	188
Capítulo VII .....	192
Pruebas y Resultados.....	192
Pruebas y Evaluación de Desempeño de Técnicas de Control.....	192
Control ON/OFF.....	193
Control PID .....	194
Análisis de Resultados Obtenidos de las Técnicas de Control ON/OFF y PID .....	196



Calidad del Planchado .....	197
Pruebas de Luces de Señalización .....	200
Pruebas de Operación de la Máquina .....	202
Pruebas sobre Interfaz Humano Máquina – HMI .....	203
Evaluación HMI.....	203
Datos Obtenidos de Evaluación HMI .....	208
Pruebas de Gestión de Alarmas .....	213
Capítulo VIII .....	215
Conclusiones y Recomendaciones .....	215
Conclusiones.....	215
Recomendaciones .....	217
Referencias.....	218
Anexos .....	222

## Índice de Tablas

Tabla 1 Capacidad de resiliencia de los tejidos.....	46
Tabla 2 Conductividad térmica de las fibras textiles.....	49
Tabla 3 Índice de límite de oxígeno de las fibras textiles. ....	51
Tabla 4 Propiedades térmicas.....	59
Tabla 5 Propiedades comunes a todas las fibras proteicas. ....	61
Tabla 6 Propiedades comunes a todas las fibras de celulosa. ....	62
Tabla 7 Propiedades del poliéster.....	63
Tabla 8 Propiedades de la fibra acrílica. ....	63
Tabla 9 Tabla resumen para las características de planchado. ....	64
Tabla 10 Algunos PLC's existentes en el mercado.....	82
Tabla 11 Algunos relés programables existentes en el mercado.....	83
Tabla 12 Algunos módulos de expansión de temperatura existentes en el mercado....	84
Tabla 13 Algunas tarjetas de adquisición de temperatura existentes en el mercado. ....	85
Tabla 14 Algunos controladores dedicados de temperatura existentes en el mercado. ....	86
Tabla 15 Requisitos para electrodos de puesta a tierra. ....	89
Tabla 16 Valores de resistencia de puesta a tierra.....	91
Tabla 17 Características del motor trifásico.....	93
Tabla 18 Características de las niquelinas. ....	95
Tabla 19 Estudio de carga de las planchas. ....	102
Tabla 20 Consumo total de corriente de los elementos. ....	104
Tabla 21 Elementos de protección, maniobra y señalización. ....	105
Tabla 22 Comparación de características de sensores de temperatura.....	106
Tabla 23 Tipos de termopares.....	110
Tabla 24 Información técnica de termopar tipo K y sensor DS18B20.....	112

Tabla 25 Lectura de los sensores de la temperatura máxima durante el calentamiento y temperatura final de enfriamiento. ....	117
Tabla 26 Características de módulo de expansión XC-E6TAC-P. ....	127
Tabla 27 Modelos de PLC de la familia XC3. ....	128
Tabla 28 Características de PLC familia XC3. ....	129
Tabla 29 Señales de entrada al PLC. ....	131
Tabla 30 Señales de salida del PLC. ....	132
Tabla 31 Características del PLC Xinje XC3-24RT-E. ....	133
Tabla 32 Características de relé de estado sólido marca Fotek. ....	135
Tabla 33 Elementos de protección, maniobra y control. ....	138
Tabla 34 Dimensión de los conductores. ....	141
Tabla 35 Descripción de pantallas de HMI. ....	152
Tabla 36 Navegación de los niveles de la HMI. ....	159
Tabla 37 Tipo de luces del tablero de control. ....	160
Tabla 38 Listado de equipos de diseño de tablero eléctrico y de control. ....	164
Tabla 39 Valores configurados en el sistema. ....	189
Tabla 40 Valores setpoint configurados. ....	190
Tabla 41 Constantes PID configuradas para el módulo 1 de temperatura XC-E6TCA-P por autosintonización. ....	191
Tabla 42 Constantes PID configuradas para el módulo 2 de temperatura XC-E6TCA-P por autosintonización. ....	191
Tabla 43 Resumen de comportamiento de temperatura aplicando control ON/OFF. ....	194
Tabla 44 Resumen de comportamiento de temperatura aplicando control PID. ....	196
Tabla 45 Encuesta sobre la calidad de planchado. ....	198
Tabla 46 Indicadores y pesos de evaluación de HMI. ....	204

Tabla 47 Subdirectrices de indicador arquitectura.....	205
Tabla 48 Subdirectrices de indicador distribución de pantallas.....	205
Tabla 49 Subdirectrices de indicador de navegación. ....	205
Tabla 50 Subdirectrices de indicador uso del color. ....	206
Tabla 51 Subdirectrices de indicador uso de información textual. ....	206
Tabla 52 Subdirectrices de indicador estatus de equipos y eventos de proceso. ....	207
Tabla 53 Subdirectrices del indicador valores del proceso. ....	207
Tabla 54 Subdirectrices de indicador gráficos y tendencias y tablas.....	207
Tabla 55 Subdirectrices del indicador comandos y entradas de datos. ....	208
Tabla 56 Subdirectrices del indicador alarmas.....	208
Tabla 57 Resultados de la evaluación de HMI realizada por el operador.....	209
Tabla 58 Resultados de la evaluación de HMI realizada por el ayudante. ....	211
Tabla 59 Código de colores para gestión de alarmas. ....	214

## Índice de Figuras

Figura 1 Vestimenta tradicional mujeres.....	34
Figura 2 Mujer otavaleña vistiendo huma watarina y reboso. ....	37
Figura 3 Mujer con sombrero otavaleño.....	38
Figura 4 Vestimenta tradicional hombres.....	39
Figura 5 Clasificación de las fibras textiles según su origen. ....	41
Figura 6 Rizado de Fibras. ....	46
Figura 7 Carga triboeléctrica de las fibras textiles. ....	48
Figura 8 Ilustración tejido plano.....	53
Figura 9 Ilustración tejido de punto. ....	54
Figura 10 Ilustración tejido de punto por urdimbre. ....	54
Figura 11 Ilustración tejido de punto por trama.....	55
Figura 12 Clasificación de los tipos de planchas. ....	56
Figura 13 Esquema del arranque directo de motores trifásicos. ....	66
Figura 14 Comportamiento de la corriente del motor en arranque directo.....	67
Figura 15 Esquema de conexión de las bobinas de un motor en estrella y delta.....	68
Figura 16 Comportamiento de la corriente del motor en arranque estrella – triangulo... 68	68
Figura 17 Diagrama esquemático de potencia del arranque con resistencias estáticas. .....	69
Figura 18 Gráfico intensidad de corriente vs velocidad en arranque con resistencias estáticas. ....	70
Figura 19 Diagrama de conexión de arranque con autotransformador.....	71
Figura 20 Gráfico intensidad de corriente vs velocidad en arranque con autotransformador.....	71
Figura 21 Placa de información técnica del motor trifásico. ....	93

Figura 22 Interruptor de cuchilla para manejo del motor. ....	94
Figura 23 Funda de empaquetado de las niquelinas.....	95
Figura 24 Alimentación eléctrica de las planchas para el proceso de calentamiento.....	96
Figura 25 Planchas conectadas a la alimentación.....	97
Figura 26 Interruptor termomagnético trifásico con falla en sus contactos. ....	98
Figura 27 Termómetro de aguja para medición de temperatura de las planchas.....	99
Figura 28 Flujo de proceso de operación.....	101
Figura 29 Esquema diseñado en Fritzing del conexionado del circuito implementado.	113
Figura 30 Circuito PCB de la placa de pruebas para adquisición de datos de temperatura. ....	114
Figura 31 Ejecución de pruebas de comportamiento de sensores con la placa PCB. .	114
Figura 32 Ubicación de los sensores desde vista superior de la plancha.....	115
Figura 33 Gráfica de mediciones de temperatura de una plancha en sus bordes con tiempo de muestreo de 1 segundo. ....	115
Figura 34 Gráfica de mediciones de temperatura de una plancha en sus bordes con tiempo de muestreo de 5 minutos. ....	116
Figura 35 Estructura y dimensiones de la plancha y del circuito interno de niquelinas.	118
Figura 36 Problema en el circuito interno de la plancha.....	119
Figura 37 Definición de la geometría de la plancha.....	120
Figura 38 Materiales usados en la simulación. ....	120
Figura 39 Conductividad térmica de los materiales a utilizarse en la simulación. ....	120
Figura 40 Módulos físicos de transferencia de calor en sólidos utilizados para la simulación. ....	121
Figura 41 Mallado de la geometría.....	121
Figura 42 Ajustes del estudio temporal de la simulación en COMSOL Multiphysics....	122



Figura 43 Estudio temporal de la distribución de calor.....	122
Figura 44 Módulo de expansión XC-E6TAC-P. ....	126
Figura 45 Pedal industrial.....	131
Figura 46 Actuadores para el control de resistencias calefactoras.....	134
Figura 47 Etapa de operación después de la modernización. ....	136
Figura 48 Diagrama de flujo de funcionamiento del motor.....	143
Figura 49 Jerarquía de grafcet.....	144
Figura 50 Grafcet de Seguridad G0.....	145
Figura 51 Grafcet de Marchas G1.....	145
Figura 52 Grafcet de Procesos G2.....	146
Figura 53 Grafcet de Tipo de Control G3.....	146
Figura 54 Diagrama de flujo del proceso según las marchas.....	148
Figura 55 Diagrama de flujo de la lectura de temperatura realizada por los módulos..	149
Figura 56 Diagrama de flujo de la autosintonización.....	150
Figura 57 Arquitectura del HMI de máquina de planchado.....	151
Figura 58 Distribución de la pantalla de inicio de sesión.....	154
Figura 59 Distribución de la pantalla general de Menú/Arquitectura.....	154
Figura 60 Distribución de la pantalla de configuración previa al proceso de calentamiento.....	155
Figura 61 Distribución de la pantalla de calibración PID.....	155
Figura 62 Distribución de la pantalla de configuración de límites de temperaturas y tiempos.....	156
Figura 63 Distribución de la pantalla del proceso para monitoreo y operación.....	156
Figura 64 Distribución de la pantalla de tendencias.....	157
Figura 65 Distribución de la pantalla de registro de datos de temperatura.....	157

Figura 66 Distribución de la pantalla de resumen de alarmas. ....	158
Figura 67 Diseño de tablero eléctrico y de control en AutoCAD Electrical. ....	164
Figura 68 Ubicación de canaletas y rieles DIN sobre el tablero. ....	166
Figura 69 Montaje de equipos sobre tablero. ....	166
Figura 70 Proceso de conexión de elementos sobre el tablero. ....	167
Figura 71 Perforaciones en el gabinete para la colocación de los elementos y conexiónados externos. ....	168
Figura 72 Gabinete de paso con interruptor termomagnético. ....	168
Figura 73 Montaje de gabinete y tablero. ....	169
Figura 74 Conector recto de manguera eléctrica flexible. ....	169
Figura 75 Montaje y conexión de luces piloto, pantalla HMI y pulsador de emergencia. .....	170
Figura 76 Tablero de control armado. ....	171
Figura 77 Conexión de puesta a tierra con varilla. ....	171
Figura 78 Puesta a tierra de las planchas metálicas. ....	172
Figura 79 Clavijas de conexión para la energización de las planchas. ....	173
Figura 80 Instalación de sensor 7 sobre plancha. ....	174
Figura 81 Pantalla de inicio del programa XCP-Pro. ....	175
Figura 82 Pantalla de selección del modelo de PLC. ....	175
Figura 83 Interfaz de programación. ....	176
Figura 84 Menú de proyecto. ....	176
Figura 85 Pantalla para selección de módulos. ....	177
Figura 86 Pantalla de configuración de tipo de sensores del módulo de adquisición de temperatura. ....	177
Figura 87 Forma básica de la interfaz XCP-Pro. ....	178

Figura 88 Comunicación entre PLC Xinje y PC. ....	179
Figura 89 Configuración física de los módulos de expansión con PLC de la familia XC. .....	180
Figura 90 Configuración de la comunicación en XCP-Pro. ....	181
Figura 91 Creación de un nuevo proyecto. ....	182
Figura 92 Conexión entre PLC y HMI. ....	183
Figura 93 Configuración de dirección IP de pantalla HMI. ....	184
Figura 94 Configuración de permiso de niveles de usuario.....	185
Figura 95 Pantallas Diseñadas.....	186
Figura 96 Captura de pantalla del archivo .csv abierto en Microsoft Excel de los datos de temperatura capturados por el Datalogger.....	192
Figura 97 Captura de datos aplicando control ON/OFF. ....	193
Figura 98 Captura de datos aplicando control PID. ....	195
Figura 99 Resultados de la encuesta de calidad antes de la modernización .....	199
Figura 100 Resultados de la encuesta de calidad antes de la modernización .....	200
Figura 101 Pruebas de luces de señalización frente a fallas y estados del proceso....	201
Figura 102 Pruebas de operación de la máquina .....	202

## Resumen

Las vestimentas de las comunidades indígenas de nuestro país son muy coloridas y llenas de significado, cada prenda y su color conlleva la identidad propia de cada pueblo, narrando las tradiciones y creencias de nuestros ancestros. Una de las más conocidas es la vestimenta de los indígenas otavaleños, especialmente de las mujeres por su belleza, tejidos y coloridos bordados a mano. Su reputación es en gran parte por el Mercado en la Plaza de Ponchos que se celebra mayormente los fines de semana, el cuál es muy atractivo para los turistas nacionales e internacionales. Es por estas razones que los indígenas cuidan mucho su vestimenta, este cuidado abarca el lavado y planchado de sus prendas como son los anacos, fachalinas y demás prendas; este último proceso es realizada de manera manual en la ciudadela Jacinto Collahuazo mediante el uso de una máquina de fabricación artesanal para el planchado por prensa la cual cuenta con deficiencias técnicas en su funcionamiento y maniobrabilidad. En consecuencia, el presente trabajo se encamina a la modernización de dicha máquina de planchado, realizando el sensado y control automático de temperatura de las planchas metálicas que realizan el planchado, control de movimiento del motor que mediante un mecanismo de engranajes y tornillo sin fin realiza la presión para el prensado y finalmente la monitorización y operabilidad de la máquina, aplicando los debidos criterios de ingeniería y normas de seguridad. Todo esto con el fin de aportar al progreso del sector artesanal y brindar las protecciones necesarias a los operarios de la máquina.

### **PALABRAS CLAVE:**

- **CONTROL DE TEMPERATURA**
- **CONTROL DE MOTOR**
- **MONITORIZACIÓN**
- **OPERABILIDAD**

### **Abstract**

The clothes of the indigenous communities of our country are very colorful and full of meaning, each item of clothing and its color involves the identity of each people, narrating the traditions and beliefs of our ancestors. One of the best known is the clothing of the Otavaleños indigenous, particularly women for their beauty, fabrics and colorful hand embroidery. Its reputation is largely due to the Market in the Plaza de Ponchos that is held mostly on weekends which is very attractive for national and international tourists. This is why the indigenous people take great care of their clothing both, this care includes washing and ironing their garments such as anacos and fachalinas; The latest process is carried out manually at Jacinto Collahuazo neighborhood using a handmade machine for press ironing, which has technical deficiencies in its operation and handling. Consequently, the present work is aimed to the update of the mentioned ironing machine, carrying out the sensing and automatic temperature control of the metal plates that doing the ironing, motor movement control through a mechanism of gears and endless screw put the pressure for pressing and finally the monitoring and operability of the machine, applying proper engineering criteria and safety standards. All this in order to contribute to the progress of the artisan sector and provide the necessary protections to the machine operators.

#### **KEYWORDS:**

- **TEMPERATURE CONTROL**
- **MOTOR CONTROL**
- **MONITORING**
- **OPERABILITY**

## Capítulo I

### Generalidades

#### Antecedentes

Los indígenas otavaleños lucen con mucho orgullo su vestimenta que, en su mayoría, son tejidos a mano por ellos mismos, con colores, bordados y diseños naturales que simbolizan el arte, el pensamiento y el trabajo de los indígenas (La Hora, 2017). Sus trajes son muy conocidos en todo el mundo convirtiéndose este en un atractivo turístico de gran aprecio. Los indígenas otavaleños buscan mantener su tradición y cultura al usarlos; es por esta razón que el cuidado de sus prendas es muy importante, tanto en el lavado como en el planchado de las mismas.

Algunos lugares en la ciudad de Otavalo realizan el planchado de las vestimentas indígenas, especialmente de las prendas femeninas como son los anacos, falda de colores oscuros tradicionalmente hecha de lana de oveja (Correo, 2017); y fachalinas, pañuelo indígena grande que usan las mujeres sobre los hombros (RAE, 2019).

Este servicio se ha brindado tradicionalmente desde hace muchos años y se lo ha hecho de manera artesanal. Este nicho de servicio ha ido creciendo con el pasar de los años y consecuentemente ha ingresado la tecnología en esta área mediante el uso de máquinas industriales de planchado; sin embargo, la calidad con la que se presenta el planchado final con el uso de estas máquinas no es de agrado de los clientes.

En un negocio artesanal que se encuentra ubicado en la Ciudadela Jacinto Collahuazo, al norte de la ciudad de Otavalo, provincia de Imbabura; se ha venido brindando este servicio alrededor de 25 años, con una cantidad aproximada de 500 pedidos semanales, actividad que se realiza con ayuda de una máquina eléctrica de planchado de fabricación artesanal supervisada por dos operarios. El método de planchado que se aplica es mediante prensa, en esta técnica se emplea placas de metal que se calientan a cierta temperatura y mediante



presión ejercida por un motor se logra alisar las prendas de vestir indígena. Cabe señalar que en los demás lugares de planchado industrial del sector se emplea gas licuado de petróleo, método que de una u otra forma deteriora el material de los tejidos sin contar con el riesgo que implica este combustible.

La industrialización del sector artesanal puede afectar el precio final del producto; sin embargo, hablando de servicios artesanales como en este caso, el uso de estas máquinas de fabricación artesanal implica un peligro inherente para los operadores debido a su diseño y construcción con carencias o déficit de criterios técnicos y de seguridad industrial.

La máquina artesanal objeto del presente proyecto cuenta con muchas deficiencias tanto en operabilidad, seguridad, confiabilidad, eficiencia energética y ciertas fallas en el producto final obtenido. Entre los más evidentes se encuentran las conexiones eléctricas expuestas que alimentan las niquelinas de las placas metálicas, presentando un riesgo eléctrico para el operario o cualquier persona que se encuentre cerca.

Otro problema que se puede apreciar es la manera de operación, ya que la temperatura de las placas es tomada mediante un termómetro de aguja por parte de un operario de manera individual y al llegar a la temperatura de 85°C se desenergiza manualmente las niquelinas desconectándolas de la alimentación eléctrica; otro problema de operación es la manipulación del motor que mediante un mismo interruptor es controlada la inversión de su giro, sin ninguna protección de arranque del motor; estos dos aspectos mencionados pueden ser causantes de accidentes eléctricos o de daños físicos al operario.

Y finalmente, un problema que se evidencia en el producto final es la quemadura de algunas prendas que en ciertas ocasiones es provocado debido a un descuido del operador para desconectar la placa de la energía a tiempo.

El objetivo principal de este proyecto es aportar al artesano en su trabajo para que este pueda trabajar con seguridad y sin ningún riesgo, manteniendo o mejorando la calidad de su producto y al mismo tiempo aportar a la conservación de las tradiciones indígenas en el uso de sus trajes típicos.

### **Justificación e Importancia**

Las máquinas si no se utilizan de manera correcta siguiendo las normas de seguridad o si son operadas por personal no calificado pueden llegar a ser peligrosas debido a que no tienen razonamiento alguno sino más bien realizan solamente su función programada por el humano. Existe un riesgo derivado de la manipulación de las máquinas en general, por lo que se debe considerar la obligatoriedad de que estas reúnan los sistemas de protección más adecuados al tipo de máquina y al sistema de trabajo.

Las causas de los riesgos eléctricos provienen principalmente del desconocimiento de las características de la energía eléctrica y de su potencial lesivo, que conlleva a: construcción de instalaciones eléctricas defectuosas, ampliación adecuación y mantenimiento sin cumplimiento de normas, alta humedad, baja calidad de los elementos instalados, falta de distancias de seguridad suficientes, proximidad de otros conductores o de fuentes de calor, posibilidad de acceso de personas no autorizadas y falta de medidas de control para realizar reparaciones eléctricas. La máquina de fabricación artesanal de este proyecto presenta expuestas las conexiones de energización de las niquelinas de las placas y del motor a la manipulación o contacto con el operador u otras personas, siendo este un factor de riesgo que pueden producir lesiones como quemaduras internas y/o externas e incluso la muerte debido a choque eléctrico del mismo.

Junto con la seguridad, otro factor a tomar en cuenta en el funcionamiento de cualquier máquina es la facilidad de operación. La máquina de planchado no posee un tablero de control; sino que su funcionamiento es totalmente manual, peligroso e ineficiente ya que se realiza la

conexión y desconexión de las placas metálicas a la energía; además, la manipulación del motor que produce el prensado es inadecuado pues no se tiene un control de arranque ni límites para su movimiento.

La deficiencia del modo de operatividad de la máquina al ser ésta controlada manualmente y bajo supervisión constante de un operario, produce ocasionalmente fallas en el producto final que se evidencian en quemaduras de las prendas cuando las placas metálicas no son desconectadas a tiempo y sobrepasan los 85°C; esto involucra una pérdida de preferencia del cliente.

Al corregir todos estos aspectos aplicando criterios de ingeniería en la solución que se planteará e implementará, repercutirá positivamente en la parte social brindando al artesano las facilidades y seguridades en la operación de su máquina, y a su vez, mejorando eficiencia y productividad en el proceso que generará en mejora de calidad del producto final, que son las prendas prensadas. Finalmente, de manera indirecta mantiene la tradición cultural de que los indígenas vistan sus trajes típicos, ya que se protege y se mantiene un servicio que brinda la posibilidad de cuidar sus prendas.

### **Alcance**

El alcance del presente proyecto y todo el proceso que se llevará a cabo esta determinado por 4 etapas. Estas etapas son: Eléctrica, instrumentación, operación y control. Cada una de estas etapas es detallada a continuación.

- **Etapas Eléctrica**

Como se evidenció en el apartado de antecedentes las conexiones eléctricas de la máquina tanto la alimentación de 220 V de las niquelinas que calientan las planchas metálicas y la alimentación del motor trifásico que realiza el prensado, se encuentran instaladas de manera artesanal, incorrecta, y peligrosa; además el deterioro de estas conexiones es evidente, por lo que se procederá a realizar un rediseño y corrección de estas conexiones.

Para el rediseño de esta etapa se tomará en cuenta la normativa eléctrica, y los criterios de seguridad industrial para el uso de elementos de protección para cortocircuitos y sobrecargas que brinden seguridad al operario y al sistema. Estos elementos estarán montados y por lo tanto protegidos en un tablero eléctrico que además contendrá los equipos de control, y operación y maniobra.

- **Etapa de Instrumentación**

Al momento el operador utiliza un termómetro de aguja que no ha sido remplazado o verificado su funcionamiento, por lo tanto, en esta etapa se realizará una investigación y comparación de los diferentes sensores que existen en el mercado observando sus especificaciones técnicas, físicas y de construcción para que se adapte de mejor manera al proceso y que sea de un fácil reemplazo para el operador en caso de falla. Entre los sensores investigados se procederá a escoger dos para ser probados en un prototipo de tarjeta de adquisición de temperatura. Este prototipo será construido en una placa PCB servirá para poder probar la respuesta de cada uno de estos sensores en el proceso, verificar interferencias y corregir dichos errores antes de la implementación de la etapa de control.

- **Etapa de operación**

Siguiendo el objetivo de modernización de la máquina en la etapa de operación se diseñará un interfaz HMI para el control y monitoreo del proceso por parte del operador, esta HMI contará además la capacidad de exportar reportes o informes de problemas, errores y valores históricos del proceso para conocimiento del operador y posibles mantenimientos preventivos. De igual manera, se modificará el control del motor para mayor seguridad y comodidad de manejo, se reemplazará el interruptor de cuchillas por pedales para realizar el cambio de giro.

- **Etapa de control**

En la etapa de control se realizará en primer lugar la toma de datos de temperatura del proceso para realizar la identificación de la planta. Una vez identificada se diseñará el controlador y su sintonización en caso de ser una técnica diferente a un control ON-OFF. Se utilizará un controlador que brinde robustez y garantía al proceso, este controlador podrá ser un controlador lógico programable o a su vez dedicado de temperatura, dependiendo de sus beneficios. Para esta etapa se tomará en cuenta un punto crucial para el proceso el cual es que todas las planchas deben llegar la temperatura ideal en un mismo tiempo.

## **Objetivos**

### ***Objetivo General***

Diseñar e implementar un sistema para la automatización y control de una máquina de fabricación artesanal de planchado textil aplicando criterios de ingeniería que aporten a mejorar su operación, seguridad y eficacia durante su empleo.

### ***Objetivos Específicos***

- Mejorar las facilidades de operación de la máquina mediante un tablero de control que permita al operario una manipulación más segura y eficiente de la misma.
- Brindar mayor seguridad al operario corrigiendo las deficiencias en las conexiones eléctricas de las niquelinas y del manejo del motor, para salvaguardar la integridad del operario y disminuir los riesgos.
- Aportar al mejoramiento de la calidad del producto final mediante un sistema automático de control de temperatura.
- Proteger los equipos eléctricos de importancia a través de un correcto dimensionamiento del sistema.

## Capítulo II

### Fundamentación Teórica

#### Indumentaria Indígena de Otavalo

Otavalo es conocido según Korovkin debido “a la fuerte tradición artesanal y comercial, ausente en otras áreas indígenas de la sierra. Pero al mismo tiempo el significado de las experiencias otavaleñas trasciende los límites locales” (Korovkin, 2002) .

El otavaleño reafirma su identidad junto con elementos, como la vestimenta, el idioma, las tradiciones y costumbres propias. La vestimenta de los indígenas de Otavalo cumple dos funciones a la vez; los protege del medio ambiente frío de la sierra ecuatoriana y además transmite información relacionada con la identidad, status en la comunidad, situación económica, estado civil, etc. Los indígenas otavaleños lucen sus atuendos con mucho orgullo, la mayoría son tejidos a mano por ellos mismos; la iconografía de su vestimenta se relaciona con su cosmovisión, a través de sus bordados, coloridos tejidos y diseños naturales cuentan su historia y simbolizan su arte, pensamiento y trabajo, pero sobre todo reescriben todos los procesos que han ido sufriendo a través de la historia; exaltando la riqueza cultural que aún se conservan en nuestros pueblos.

La indumentaria del pueblo Otavalo, es una de las más reconocidas porque sus textiles lograron persistir del régimen colonial independizándose, pero conservando el sistema textil que les fue impuesto, que trae como consecuencia una revalorización étnica. El sistema textil consistía en un cambio de materia prima de algodón a la lana y por otra parte un cambio en el sistema económico (Simbaña, 2011).

Don Sancho Paz Ponce de León, el más notable y el más conocido de los Corregidores de Otavalo en el siglo XVI, en su "Relación y descripción de los pueblos del partido de Otavalo, 1582", proporciona los primeros datos acerca de la indumentaria de los indígenas de esta región:

“El hábito que traían antiguamente los hombres antes que el Inga viniese, era una manta de algodón grande que le daba dos vueltas al cuerpo, y después que el Inga vino, traen unas camisetas y unas mantas cuadradas de algodón. Las mujeres traen una manta de algodón grande, llaman anaco, pegada al cuerpo y prendida con unos prendedores de plata o cobre, la cual prenden con los dichos prendedores en los hombros, y ciñen la manta con una faja de algodón muy labrada y pintada de colores, traen otra más pequeña cuadrada prendida con otro prendedor, y esta manta pequeña la llaman líquida (lliclla) los indios, y la grande llaman anaco y los prendedores, los llaman topos, Y éste es el hábito que ahora traen estos indios”.

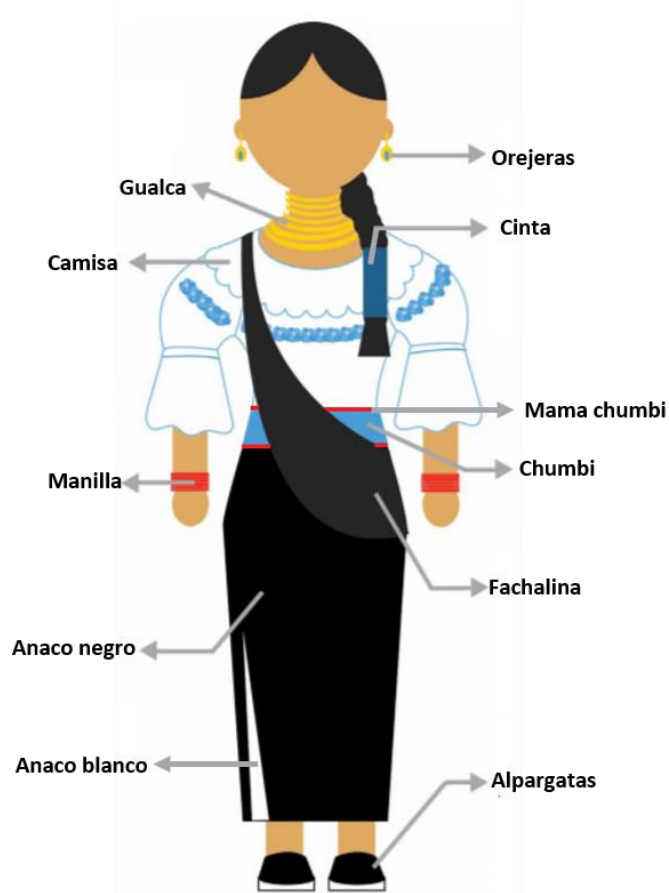
Una descripción de 1738 de los marinos españoles Jorge Juan y Antonio de Ulloa, permite conocer cuál era la indumentaria de ciertos estratos establecidos en el período colonial. Enumeran las piezas del vestido de indios que ejercen los oficios más bajos, como son los zapateros, albañiles y tejedores, diferentes de los que usan los barberos y sangradores (Cisneros et al., 1990).

### ***Vestimenta Tradicional Actual de la Mujer Otavaleña***

Los costos del atuendo femenino kichwa -del pueblo Otavalo- fluctúan entre los USD 250 y 4 000 (El Comercio, 2016). La vestimenta de la mujer está compuesta por 10 piezas más sus accesorios:

**Figura 1**

*Vestimenta tradicional mujeres.*



*Nota.* Adaptado de *Tinkiy*, por Arguello, WordPress

(<https://protallerdissara.files.wordpress.com/2011/11/proyecto-de-titulacic3b3n26.pdf>)

**Camisa.** Las camisas bordadas fueron introducidas en los años 50 como influencia española, sin embargo, ahora forman parte de su identidad.

Es una prenda de color blanco que antiguamente llegaba hasta los tobillos sirviendo como blusa y enagua, actualmente se han moderado y ahora son más al cuerpo. Las camisas pueden ser de telas finas o gruesas según al gusto; su pecho y mangas son bordados bien hechas a mano o en máquinas y de acuerdo con eso depende su costo. Los bordados son tejidos con hilos multicolores y en su mayoría son patrones que representan las flores y plantas



de la naturaleza. Las camisas tienen mangas de 18cm y su encaje también depende del gusto (Cotacachi, 2020) .

**Anaco Blanco.** Antes que el Inca llegara, las mujeres utilizaban una manta de algodón grande que daba dos vueltas al cuerpo prendido con unos prendedores de plata o cobre llamado “tupu”. Después que el Inca llegó trajo unas mantas rectangulares de algodón en cuyos bordes tienen bordados de colores, esta parte del atuendo se envuelve alrededor de la cintura el cual refleja el aspecto sagrado de la mujer.

**Anaco Negro.** Es una manta rectangular que va sobre el anaco blanco, con bordados de colores como son:

- **Árbol.** Representa el árbol sagrado y mitológico del lechero en donde se realizan cultos a los dioses (bordado en el centro y extremo de las orillas del anaco).
- **Kinku.** Este bordado simboliza el mar.
- **Rayas.** Representa la tierra de la madre naturaleza.

**Mama Chumbi.** Faja grande, elaborada con el alma de cabuya y lana roja que simboliza la fuerza, tiene 12 cm. de ancho y 1,50 m. de largo, los bordes suelen ir con un adorno de color verde presentando así una combinación llamativa; además, permite que las mujeres tengan fuerza, se lo coloca en la parte céntrica de la mujer.

**Chumbi.** Su ancho es de 5 cm. por 3 m. de largo, cada chumbi tiene hermosos bordados y figuras distintas con una variedad de color combinables con la camisa y se los fabrica en telares horizontales. Se lo coloca dando seis o siete vueltas sobre el mama chumbi dando una forma femenina al cuerpo ya que también va en la cintura (Cotacachi, 2020).

**Fachalina.** Paño blanco o negro de dos varas de largo que va sobre la camisa sostenida en la parte superior mediante un nudo o con prendedores de cobre o de plata. Se

puede usar de dos formas; sujeta al pecho mediante un nudo central que demuestra mayor elegancia, usado para ceremonias importantes como matrimonio y para lugares religiosos como una iglesia; y la otra manera es sujeta al hombro facilitando y dando mayor comodidad para realizar de las labores del hogar.

**Cinta.** Es una fajilla que sirve para agarrar el cabello de las mujeres, antiguamente la cinta solo la utilizaban las mujeres de alta posición económica, pero en la actualidad las utilizan todas las mujeres de cualquier posición social.

**Alpargatas.** Calzado elaborado a mano con elementos naturales como la cabuya y el hilo, el cual se sujeta a los tobillos, estas alpargatas generalmente son de color azul y negro (Egas, 2018).

**Gualca.** Son hechas a base de hilo color naranja y mullos dorados que va alrededor del cuello en varias sargas adornado con corales o mullos finos. Las gualcas simbolizan el maíz y la riqueza de nuestra madre tierra (Cotacachi, 2020).

**Orejas.** Son semejantes a las gualcas, pero se colocan en la orejas de manera vertical. Las orejas están hechas con tres sargas de mullos, los extremos se unen en un nudo el mismo que se sujeta con cordón en forma circular. Esto lleva moneda de plata antigua o un crucifijo; se sujeta sobre el pabellón de la oreja y se cuelga hasta los hombros. Esto solo se utiliza para ocasiones especiales o fiestas tradicionales (Cotacachi, 2020).

**Manilla.** Por lo general están hechas con mullos de color rojo o corales finos que se lo usan en las muñecas, esto también simboliza fuerza en las manos para poder trabajar en la tierra.

**Anillo.** Son de bronce, antiguamente las mujeres lo llevaban puestos en todos los dedos de la mano con el pasar del tiempo ya no es tan común.

**Huma Watarina.** Esta prenda es parte del atuendo, pero es más utilizada por las mujeres mayores y está hecha de lana de color negro con franjas blancas que representa equilibrio, la dualidad, es decir, el par hombre- mujer, día- ya que en la cosmovisión andina todo ser tiene su pareja. De igual forma protege del sol y del frío, ya que va envuelta en la cabeza a manera de turbante. Otra manera de ponerse esta prenda es de una forma piramidal y se usa más para protegerse del sol cuando van a cosechar o trabajar en la tierra (Cotacachi, 2020).

**Reboso.** Es una manta que puede ser de cualquier color lo utilizan para cargar en su espalda a los niños, las compras del mercado y otros. Así mismo, sirve para protegerse del frío o también como símbolo de elegancia, por lo general lo utilizan las mujeres casadas.

## Figura 2

*Mujer otavaleña vistiendo huma watarina y reboso.*



*Nota. Tomado de Otavalo Ecuador, por Huertas, Pinterest (<https://www.pinterest.cl/pin/330240585147290351/>)*

**Sombrero.** Se implantó con la llegada de los españoles, son hechas de paño y de color blanco que es solo usada en ocasiones importantes.

**Figura 3**

*Mujer con sombrero otavaleño.*



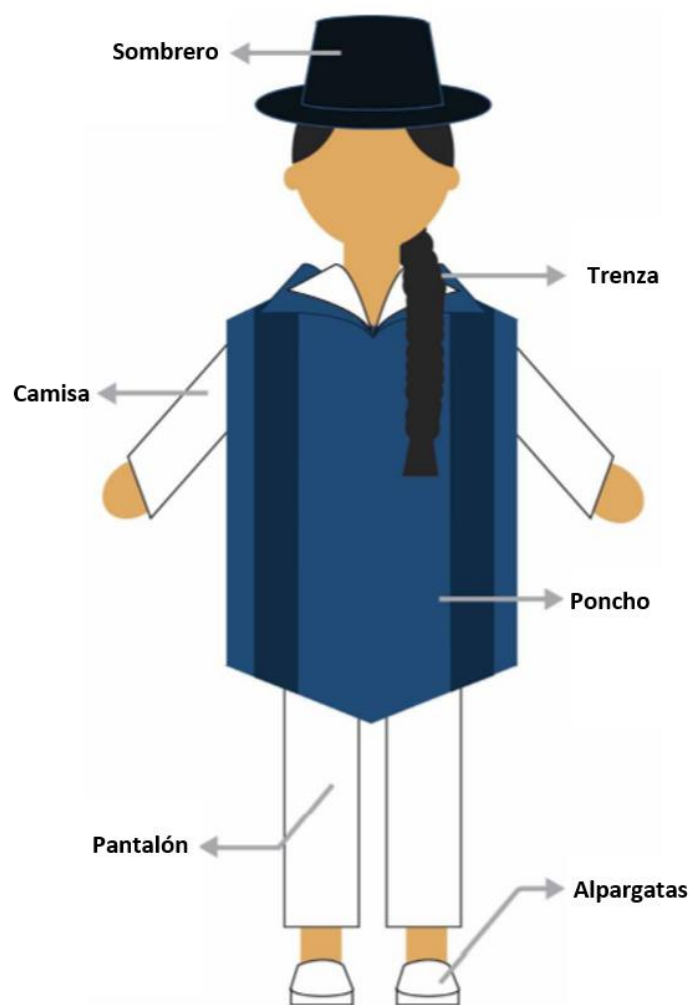
*Nota.* Tomado de *Yo Amo la Vestimenta Otavaleña*, por Perugachi, 2016, Facebook (<https://www.facebook.com/1234YALVO/photos/1812033902365061>)

***Vestimenta de Hombre Otavaleño***

La vestimenta de los hombres tiene menos prendas y es más práctico:

**Figura 4**

*Vestimenta tradicional hombres.*



*Nota. Adaptado de Tinkiy, por Arguello, WordPress*  
 (<https://protallerdissara.files.wordpress.com/2011/11/proyecto-de-titulacic3b3n26.pdf>)

**Camisa.** Son camisas de color blanco con mangas largas, sus puños y cuello son hechas con una tela más fina; refleja la limpieza espiritual de la persona.

**Pantalón.** En los años 70 se introdujo el pantalón actual como copia de los pantalones blanco de mestizos, sin embargo, se respeta el color blanco que es parte de la identidad. Es

hecha de lienzo blanco, ancho, llega un poco antes de los tobillos y utilizan un cordal para ceñirse en la cintura (Cotacachi, 2020).

**Poncho.** El poncho está diseñado en base a la forma de las montañas andinas. Son de lana o de paño tejido en telar de mano con colores oscuros, pueden ser lisos o con figuras cuadradas; sirve como una protección del frío de las montañas. El poncho puede ir suelto, aunque doblándolo en el hombro simboliza elegancia.

**Alpargata.** Solían traer hojas que es una cierta atadura sobre la suela de alpargata, de manera que solo tenían guardada la planta del pie, ahora tienen el mismo diseño que la mujer con la diferencia que el hombre siempre utiliza el color blanco.

**Sombrero.** Son de paño generalmente de color oscuro negro o café. Se coloca en la cabeza y lo protegen de sol.

**Trenza.** El indígena otavaleño se caracteriza por su trenza larga que va sobre la espada, utilizan un cordón para mantener su peinado durante todo el día.

## **Fibras y Tejidos Textiles**

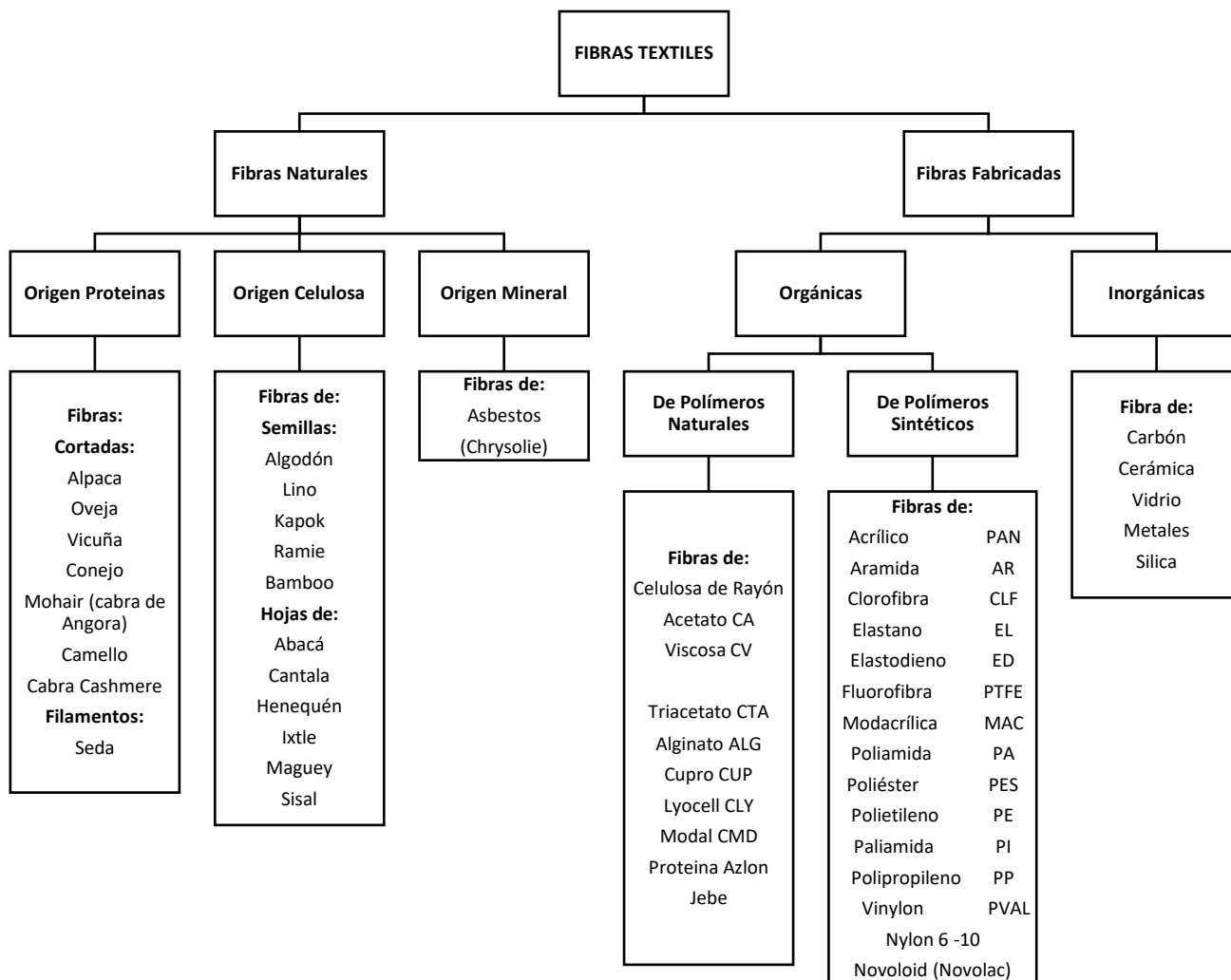
### ***Fibra Textil***

Una fibra textil es un filamento cuya característica principal es su elevada longitud con relación a su diámetro. Los diámetros y las longitudes varían de unas a otras, según la procedencia de éstas (Flores, 2011).

## Clasificación de las Fibras Textiles

Figura 5

Clasificación de las fibras textiles según su origen.



Nota. Adaptado de (Flores, 2011)

Como se puede apreciar en el mapa existen dos tipos de fibras, las fibras naturales y las fibras fabricadas. Entre las fibras naturales están:

**Fibra de Origen Animal.** Son producidas por glándulas sedosas y por folículos pilosos. En primer lugar, está la seda, una sustancia formada por la proteína fibroína, segregada de manera continua por ciertos insectos y que al contacto con el aire se solidifica. Sus principales

características son: brillante y fina; suave, lisa, crujiente; no arde; es elástica; retiene hasta el 45% de su peso en agua; no se arruga, no es atacada por insectos.

La fibra más destacada en el grupo producida por folículos pilosos es la lana, producida por carneros y ovejas. Se forma con una proteína llamada queratina en una proporción del 20-25% del total de la fibra. Está conformada por una cubierta externa escamosa, que repele el agua y provoca el enfieltado, una sección cortical y otra medular que absorbe la humedad. Sus dimensiones varían entre 12 – 120 mm de diámetro con una longitud entre 20 – 350mm, que dependen del animal que la produce; es vulnerable a la polilla.

A diferencia de la lana, los pelos de animal son lisos, por lo que caen sueltos y no en vellones. En contraste con ella, los pelos apenas tienen impurezas (Pineda & Jara, 2010).

**Fibra de Origen Vegetal.** Se pueden obtener a partir de semillas como en el caso del algodón; del tallo, como el lino, el cáñamo, el yute, el ramio, y el kernaf; de las hojas, como el abacá y el sisal; de frutos como el coco. Otras fibras vegetales poco usadas son el esparto, la banana, el dunn, el henequén, el formio, el maguey y la ananá (Pineda & Jara, 2010).

**Fibra de Origen Mineral.** La única que tiene este origen es el asbesto o amianto, su uso se encuentra prohibido debido a las propiedades carcinogénicas de sus fibras.

Las fibras fabricadas se subdividen en orgánicas e inorgánicas. Las fibras orgánicas pueden ser:

**Fibra Artificial.** Son manufacturadas por medio de transformaciones químicas de polímeros naturales de celulosa, proteínas y otras materias primas. En lo que se refiere al crecimiento en la utilización de las fibras artificiales provenientes de polímeros naturales como la celulosa, esta se debe al incremento de la producción de celulosa obtenida de los árboles de crecimiento rápido, como el eucalipto, que ofrecen cantidades industriales de dicha materia prima (Pineda & Jara, 2010).



**Fibra Sintética.** Son fabricadas con polímeros creados por el hombre. Estas fibras se forman por la unión de monómeros para generar elementos químicos complejos denominados polímeros. La diferencia entre una y otra fibra radica en la materia prima que usa, la forma en que se unen formando los polímeros y el método de hilatura empleado. Existe una larga lista de este tipo de fibras entre las que se destacan las acrílicas, las aramidas, las clorofibras, el elastano, el elastodieno, las fluorofibras, las modacrílicas, las poliamidas, el poliéster, el polipropileno, el polietileno, el poliuretano, el trivinil, el vinilal y el policarbonato.

Este tipo de fibras vienen desplazando a las naturales, como el algodón, dada su calidad, su costo y su oportunidad en el mercado. En cuanto a las fibras sintéticas, la disponibilidad cada vez más abundante de subproductos derivados del petróleo, ha permitido la obtención de fibras con base en polímeros obtenidos a partir de la síntesis de hidrocarburos.

Mientras, que las fibras inorgánicas no poseen una subclasificación:

**Fibra Inorgánica.** Entre este tipo de fibras se encuentran carbón, vidrio, metales, cerámica, vidrio, metales y silica.

### ***Propiedades de los Textiles***

**Flexibilidad.** El grado de flexibilidad determina la facilidad con la cual los tejidos podrán ser doblados y esto influirá en la durabilidad de la prenda. En términos generales, para que cuando el tejido vista a una persona, debe permitirle a esta libertad de movimientos, por lo que las fibras a usarse necesitan ser dóciles y flexibles. Una fibra debe ser suficientemente flexible para soportar flexiones repetidas sin disminuir su resistencia a la rotura (Lockuán, 2013).

**Elasticidad.** Es la capacidad de recuperar su longitud original después de sufrir una fuerza de estiramiento. La elasticidad de un material se lo expresa en porcentaje, por ejemplo, si una fibra de 100cm se estira en 10% es decir, 100cm se convierten en 110 cm y luego al

quitarle la carga causante de la deformación, vuelve a su longitud original de 100 cm, se dice que la fibra es totalmente elástica o que tiene 100% de elasticidad (Lockuán, 2013).

**Elongación.** Se refiere al máximo estiramiento que resiste la fibra hasta el punto de rotura. Se expresa como un porcentaje de la longitud original de la fibra (Sánchez, 2013) ; por ejemplo, dado un hilo de longitud 100 cm que puede alargarse hasta 112 cm antes de romperse, se dice que tiene 12% de alargamiento de ruptura o elongación.

**Tenacidad (Resistencia a la Tracción).** Se refiere a la capacidad que tienen las fibras de soportar un esfuerzo. Es importante que la fibra posea suficiente resistencia a la tracción para ser trabajada y procesada por las maquinarias de hilatura y tejeduría dando luego un producto con adecuada durabilidad para el uso al cual está destinado (Lockuán, 2013). Su unidad es el gramo sobre Denier

**Peso Específico.** Es el peso por unidad de volumen de un cuerpo y en el Sistema Internacional de Unidades se utiliza el Newton por metro cúbico ( $N/m^3$ ). Según el SI, el término peso específico no es correcto, debiendo llamarse densidad de peso, a pesar de esta recomendación, se sigue empleando este término.

**Finura.** Se refiere al grosor de las fibras y determina en gran medida la calidad del producto final, sea hilo o tejido. Esta característica contribuye al tacto de los tejidos: fibras finas dan al tejido un tacto suave, mayor resistencia, mayor flexibilidad, mejor caída y mejor doblés, aunque una mayor tendencia al pilling. Por su parte, las fibras gruesas son rígidas y ásperas, brindan dureza y cuerpo al tejido, además de una mayor resistencia al arrugado (Lockuán, 2013).

**Longitud.** A diferencia de la finura que es invariable a través de los procesos textiles, la longitud puede modificarse en los procesos de hilatura, al sufrir fraccionamiento. De acuerdo a

su longitud las fibras se dividen en: fibras continuas (teóricamente de longitud ilimitada, medible en metros o yardas) y fibras discontinuas (de longitud limitada, medible en centímetros, milímetros o pulgadas). Las fibras continuas puede ser un solo filamento (monofilamentos) o de sin número de pequeños filamentos (multifilamentos).

**Higroscopicidad.** Es la capacidad para absorber la humedad del aire e incorporarla a su contenido. Depende de la estructura química y física de la fibra, así como de la temperatura y humedad del entorno. En general, todas las fibras textiles, ya sean naturales o manufacturadas tienen la propiedad de contener en su constitución física una cierta cantidad de agua. La higroscopicidad de los materiales se puede expresar como contenido de humedad o porcentaje de humedad y recuperación de humedad o regain, este último se refiere a la cantidad de agua que posee una fibra en relación a su peso seco a condiciones normales (Lockuán, 2013).

**Resistencia a la Abrasión.** Capacidad de una fibra de soportar las fuerzas de frote en el uso diario; si una fibra es capaz de absorber y disipar eficazmente estas fuerzas sin daño, la fibra muestra resistencia a la abrasión.

**Resistencia a la Compresión de la Masa Fibrosa.** Denominada también como resiliencia, es la capacidad que tienen las fibras de recuperarse después de sufrir una compresión o aplastamiento.

**Tabla 1***Capacidad de resiliencia de los tejidos*

<b>Resiliencia</b>	<b>Tejido</b>
Excelente resiliencia	Nylon
	Poliéster
	Acrílicas
	Lana
	Seda
Baja resiliencia	Algodón
	Lino
	Viscosa
	Acetato

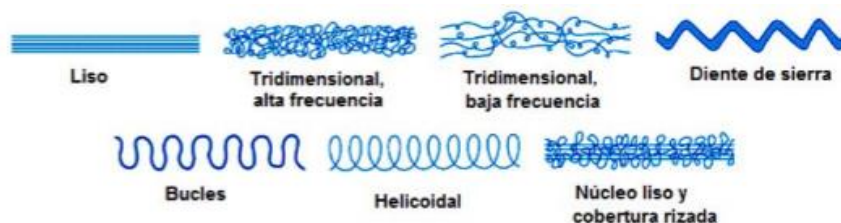
*Nota.* Tomado de *Propiedades de las fibras textiles*, por Sánchez, Issuu ([https://issuu.com/mayratsanchez/docs/propiedades\\_de\\_las\\_fibras](https://issuu.com/mayratsanchez/docs/propiedades_de_las_fibras))

**Rizado.** La ondulación de una fibra influye en la voluminosidad del hilo y en el tacto del tejido. Las prendas confeccionadas con fibras rizadas son técnicamente más aislantes (Lockuán, 2013).

La ondulación de las fibras presenta tres parámetros:

- Si es en dos o en tres dimensiones.
- Tamaño del rizo (amplitud).
- Número de ondulaciones por unidad de longitud (frecuencia).

**Figura 6***Rizado de Fibras.*



*Nota.* Tomado de *La industria textil y su control de calidad*, por Lockuán, Issuu ([https://issuu.com/fidel\\_lockuan/docs/ii.\\_la\\_industria\\_textil\\_y\\_su\\_control\\_de\\_calidad/36](https://issuu.com/fidel_lockuan/docs/ii._la_industria_textil_y_su_control_de_calidad/36))

**Propiedades Friccionales y Cohesivas.** Se sabe que la fuerza necesaria para ocasionar un deslizamiento relativo de dos superficies es proporcional a las fuerzas que mantienen a estas superficies en contacto.

Las fibras deben ofrecer la suficiente fricción para que al reducir el deslizamiento entre las mismas aumente la resistencia del hilado. Es decir, deben tener la habilidad de permanecer juntas en los procesos de manufactura del hilo y en el hilo final.

**Fieltramiento.** Se refiere a la capacidad de las fibras de entrelazarse unas con otras. La lana gracias a la presencia de escamas en su superficie sobresale en esta propiedad

**Efecto Triboeléctrico.** Es un tipo de electrificación causado por el frotamiento directo. La carga electrostática se produce cuando dos cuerpos se rozan y se separan, uno de los cuerpos, como mínimo, debe ser aislante. En consecuencia, como la mayor parte de los materiales textiles son conductores, originan estas cargas. El valor de la carga depende de las características dieléctricas de los materiales en contacto y de las influencias exteriores como la temperatura, humedad relativa del ambiente y humedad relativa del material.

En general, la tendencia a las cargas electrostáticas es más débil en las fibras vegetales que en las de origen animal o sintético.

**Figura 7**

*Carga triboeléctrica de las fibras textiles.*



*Nota.* Tomado de *La industria textil y su control de calidad*, por Lockuán, Issuu ([https://issuu.com/fidel\\_lockuan/docs/ii.\\_la\\_industria\\_textil\\_y\\_su\\_control\\_de\\_calidad/36](https://issuu.com/fidel_lockuan/docs/ii._la_industria_textil_y_su_control_de_calidad/36))

**Conductividad Eléctrica.** Es la capacidad de transferir cargas eléctricas, y se expresa en siemens por metro. Esta propiedad se relaciona con la triboeléctrica del siguiente modo: si una fibra genera electricidad ante una acción de frotamiento y no es capaz de transferir esta carga (por su baja conductividad eléctrica), se comporta como un imán, adhiriéndose a superficies con carga opuesta.

Si este fenómeno ocurre en las etapas de la hilandera, ocasiona enredos sobre los cilindros y rodillos de estiraje, con el consiguiente paro de maquinaria. Cuando se trata de prendas, el tejido se adhiere al cuerpo y genera baja confortabilidad; también atrae polvo y partículas pequeñas, ensuciándose más rápido.

Resumiendo, se tiene que la electricidad estática se da debido a la generación de triboelectricidad de la fibra más la baja conductividad eléctrica. La primera propiedad no puede

modificarse, pero la conductividad eléctrica es posible de incrementarse mediante la adición de sustancias conductoras (ensimaje en la hilandería) o la mezcla con fibras metálicas ya en el tejido, para disipar las cargas, como en las alfombras antiestáticas (Lockuán, 2013).

**Conductividad Térmica.** Es la capacidad de conducir calor, se expresa en Vatios por Kelvin metro. La lana y las fibras acrílicas son malas conductoras del calor, por lo que adquieren características de abrigar más, conservando el calor corporal. La sensación de confort está en relación con la temperatura del cuerpo y la del medio externo.

**Tabla 2**

*Conductividad térmica de las fibras textiles.*

<b>Fibra</b>	<b>W / (K.m)</b>
Algodón	0.07
Lana	0.055
Seda	0.05
Poliamida	0.25
Poliéster	0.14
Polietileno	0.12
Polipropileno	0.34
Cloruro de polivinilo	0.16
Acrílico	0.18

*Nota.* Adaptado de *La industria textil y su control de calidad*, por Lockuán, Issuu ([https://issuu.com/fidel\\_lockuan/docs/ii\\_la\\_industria\\_textil\\_y\\_su\\_control\\_de\\_calidad/36](https://issuu.com/fidel_lockuan/docs/ii_la_industria_textil_y_su_control_de_calidad/36))

**Lustre.** Como lustre se entiende al grado de luz que se refleja desde la superficie de una fibra o el grado de brillantez que la fibra posee. La estructura química y física inherente y la forma de la fibra pueden afectar su brillo relativo.

En las fibras naturales el lustre depende de la forma que la naturaleza da a la fibra, puede cambiarse por medios químicos y/o tratamientos físicos (como la mercerización del algodón, por ejemplo). En las fibras manufacturadas el lustre puede variarse de brillante a opaco dependiendo de la cantidad de deslustrador añadido a la fibra.

**Resistencia a los Agentes Externos.** Para ser útil, una fibra textil debe tener una resistencia a los productos químicos que entran en contacto con ella durante el uso y mantenimiento. Debe tener resistencia a la oxidación por el oxígeno y otros gases en el aire, particularmente en presencia de luz, y ser resistente al ataque de microorganismos y otros agentes biológicos. Además, las fibras textiles entran en contacto con una amplia gama de agentes químicos en el lavado en seco y deben ser resistentes a tales condiciones.

**Características Térmicas e Inflamabilidad.** La fibra textil debe ser resistente al calor seco y húmedo, no ha de encenderse fácilmente al entrar en contacto con una llama, e idealmente debe auto extinguirse cuando se le retira de ella.

La estabilidad térmica es particularmente importante durante el teñido y el ennoblecimiento, y durante la limpieza y mantenimiento por el usuario final.

En su mayor parte las fibras textiles se componen de materiales poliméricos orgánicos que contienen carbono y arden o encienden con una llama u otra fuente de ignición. En general, la estructura química de una fibra determina inflamabilidad, y acabados textiles apropiados pueden reducirla.

La combustión de fibras textiles está relacionada con su índice límite de oxígeno (LOI, limit oxygen index), que indica la cantidad mínima de oxígeno que la fibra necesita para arder.

Dado que el porcentaje de oxígeno en el aire es de alrededor de 21%, es evidente que todas las fibras con un LOI por debajo de este nivel se queman con facilidad, mientras que aquellas con un alto LOI tenderán a no quemar.



**Tabla 3***Índice de límite de oxígeno de las fibras textiles.*

<b>Fibra</b>	<b>LOI (%)</b>
Lana	25
Algodón	18
Rayón viscosa	20
Acetato	18
Triacetato	18
Clorofibra	48
Acrílico	18 – 20
Modacrílico	22 – 28
Novoloid	36
Poliéster	20
Poliamida	20

*Nota.* Obtenido de *La industria textil y su control de calidad*, por Lockuán, Issuu ([https://issuu.com/fidel\\_lockuan/docs/ii\\_la\\_industria\\_textil\\_y\\_su\\_control\\_de\\_calidad/36](https://issuu.com/fidel_lockuan/docs/ii_la_industria_textil_y_su_control_de_calidad/36))

***Fibra Textil Ideal***

Si bien las características deseables de las fibras dependerán de los requerimientos del artículo final, bajo un criterio general se puede enunciar algunas propiedades que debe reunir una fibra textil ideal.

1. Punto de fusión y/o descomposición por encima de 220°C.
2. Resistencia a la tracción de 45 cN/tex, o superior.
3. Alargamiento a la rotura a 10%, y alargamiento reversible con hasta 5% de deformación.

4. Higroscopicidad entre 2 y 5%.
5. Capacidad combinada de recuperar humedad y retener el aire.
6. Alta resistencia a la abrasión.
7. Resistencia a los ácidos, álcalis y solventes químicos.
8. Autoextinción al retirarla de la llama.

### **Tejido**

Las propiedades específicas de una tela no dependen únicamente del tipo de fibra utilizado para su fabricación, sino, además de cómo ésta ha sido tejida para construirla; las cuales tienen propiedades distintas dependiendo de si es un tejido de punto o de telar.

La tejidura es una operación que consiste en entrelazar perpendicularmente dos o más hilos estirados. Es la técnica de fabricación de telas más antigua, pues el telar manual se conoce desde tiempos inmemoriales. La idea básica de entrelazar los hilos continúa vigente (Pineda & Jara, 2010)

Los principales métodos de fabricación de telas son los tejidos planos y los tejidos de punto. En la industria textil moderna, estas operaciones se llevan a cabo con máquinas automáticas; los géneros resultantes encuentran una amplia gama de aplicaciones finales, como prendas de vestir, textiles para el hogar y aplicaciones industriales (Pineda & Jara, 2010).

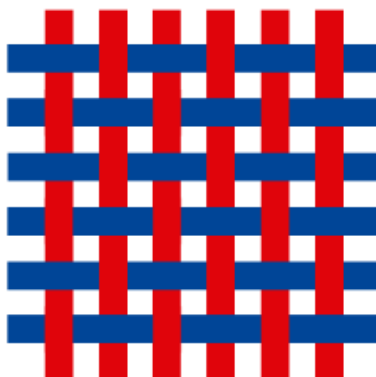
**Tejido Plano.** Este tejido se caracteriza por el entrelazado de sus hilos en ángulos rectos, es decir, los hilos que van a lo largo de la tela (urdimbre), se entrelazan con los hilos que van a lo ancho de la tela (trama), formando entre sí formas (LAFAYATTE, 2019)

El tejido plano, o de calada, se fabrica en el telar de calada, constituido por un plegador que desenrolla los hilos provenientes de la urdimbre, los cuales pasan por los guíahilos y se desvían adoptando la dirección en la que se les insertará la trama, en este caso horizontal. A

continuación del guáñilos se encuentran las cañas que forman la cruz; posteriormente están los lizos, que halan los hilos de la urdimbre y que se mueven alternativamente hacia arriba y hacia abajo, abriendo y cerrando la calada. Después se encuentra el batán, que permite el paso de la lanzadera la cual carga el hilo de la trama. La lanzadera pasa entre las púas, por donde pasa la urdimbre, y del pasamano que sujeta la parte superior de la púa. La lanzadera pasa por dentro de la calada, guiada por las mesas y la púa arrastrando un trozo de hilo de trama denominado pasada. Una vez la lanzadera ha pasado, el batán avanza, haciendo avanzar la urdimbre. La púa retiene el hilo de trama prensándolo contra el anterior hilo de trama. El tejido se desplaza horizontalmente y se enrolla en una bobina ya como tela (Pineda & Jara, 2010).

### Figura 8

*Ilustración tejido plano.*



*Nota.* Tomado de *¿Conoces los tipos de tejido existentes?*, por LAFAYETTE, 2019, LAFAYETTE (<https://www.lafayette.com/conoces-los-tipos-de-tejido-existentes/#:~:text=1.,formando%20entre%20sí%20formas%20perpendiculares.>)

**Tejido de Punto.** Este tipo de telar consiste en pasar un lazo de hilo a través de otro lazo utilizando dos agujas. La base de este tejido es la malla que se puede formar de dos

maneras: género de punto por trama o circular y género de punto por urdimbre o tricot. La mayor ventaja de este tipo de tejido, es que se pueden producir telas más livianas y se obtiene una mayor versatilidad de diseños.

### Figura 9

*Ilustración de tejido de punto.*



*Nota.* Tomado de *¿Conoces los tipos de tejido existentes?*, por LAFAYETTE, 2019, LAFAYETTE (<https://www.lafayette.com/conoces-los-tipos-de-tejido-existentes/#:~:text=1.,formando%20entre%20sí%20formas%20perpendiculares.>)

### Figura 10

*Ilustración de tejido de punto por urdimbre.*



*Nota.* Tomado de *Tejidos de punto*, por A. Astorino, 2019, Pinterest (<https://www.pinterest.com/pin/548805904568054688/>)

**Figura 11**

*Ilustración de tejido de punto por trama.*



*Nota.* Tomado de *Tejidos de punto*, por A. Astorino, 2019, Pinterest (<https://www.pinterest.com/pin/548805904568054961/>)

La diferencia entre los tejidos planos y los tejidos de punto es que las telas de punto se construyen con un único hilo entrelazado consigo mismo; mientras que, en los tejidos de plana o telar, se entrecruzan diferentes hilos en vertical (conocidos como los hilos de urdimbre) con hilos en horizontal (trama). Estos dos tipos de construcción le dan a cada tipo de tela unas propiedades diferentes.

**Proceso de Planchado**

El proceso de planchado tiene como objetivo eliminar arrugas y marcas en el tejido, además de evitar la transmisión de enfermedades infecciosas, haciendo uso de un instrumento de planchado. Para la ejecución de este proceso intervienen diferentes particularidades de acuerdo al tipo de tejidos empleados para realizar la prenda. Un adecuado proceso de planchado requiere de la combinación de los siguientes parámetros:

- Temperatura
- Presión
- Humedad

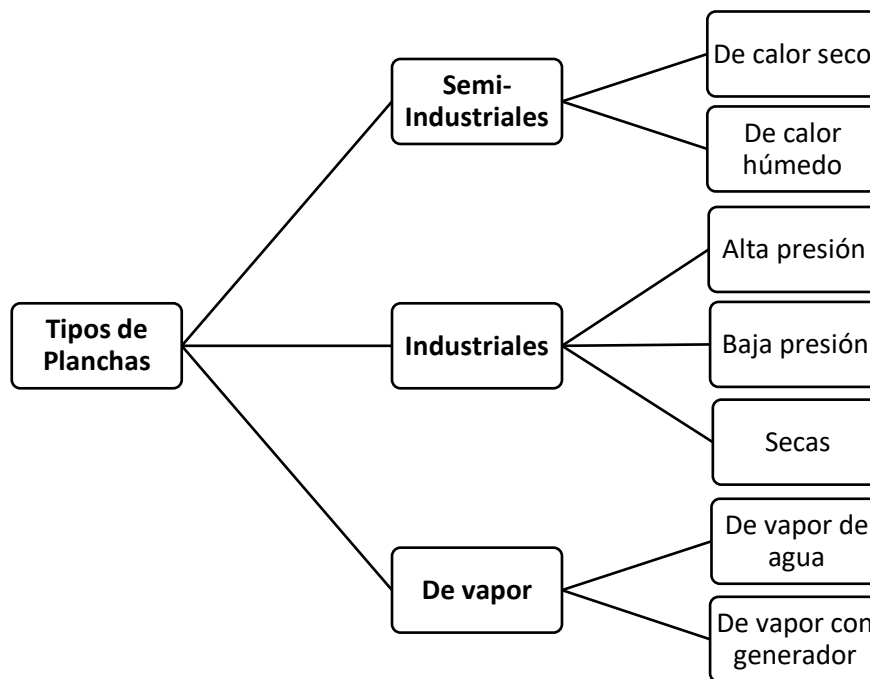
En cuanto a la presión máxima a la cual puede ser sometida un tejido está limitada por la necesidad de mantener inalterada la apariencia de la superficie del tejido. En este caso las propiedades mecánicas más importantes son la compresibilidad y resiliencia (capacidad de adaptarse a los cambios) (Carrera, 2015).

### ***Tipos de Planchas***

Se pueden clasificar las planchas de acuerdo al ambiente en la que operan, la forma de obtener el calor y el tipo de vapor usado en el proceso. En el mapa de la Figura 12, se puede observar una clasificación según (Arias, 2002) citado en la tesis de (Quilumbaquin, 2016).

### **Figura 12**

*Clasificación de los tipos de planchas.*



*Nota.* Adaptado de *Diseño e Implementación de un Sistema de Humectación y Planchado en una Máquina Plisadora de Tela para Faldas Cayambeñas*, por Quilumbaquin, T, 2016.

**Plancha Semi-industriales.** Para el planchado en el hogar la herramienta más común es la plancha doméstica, esta se calienta mediante resistencias que poseen en su interior y

pueden suministrar calor seco o calor húmedos, dependiendo de las funcionalidades de cada plancha (Quilumbaquin, 2016).

- **De calor seco.** El calentamiento de estas planchas se da mediante resistencias eléctricas.
- **De calor húmedo.** Este tipo de planchas utiliza vapor de agua para el calentamiento, su peso es más ligero que la plancha de calor seco.

**Plancha Vapor.** La plancha de vapor puede ser de dos tipos:

- **Plancha de vapor con bomba.** El vapor se produce dentro de la plancha gracias al agua bombeada a partir de un depósito auxiliar según la plancha lo necesite.
- **Plancha de vapor con generador de vapor.** Según (Arias, 2002): “en la plancha con generador de vapor no es la plancha que produce vapor, sino un generador independiente que le sirve de soporte”. La cantidad de vapor que emplea esta plancha suele ser mayor que la del tipo anterior, volviendo al planchado más fácil.

**Plancha Industriales.** Se caracterizan por utilizar potencias que oscilan entre 800 Watts [W] y 1300 [W]. El control de temperatura se realiza mediante termostatos, o mediante una unidad de control (Quilumbaquin, 2016); se pueden clasificar en las siguiente:

- **Plancha de alta presión.** Son calentadas mediante vapor de red, y trabaja a una presión entre 3 a 6 kilogramos por centímetro cuadrado [Kg/cm<sup>2</sup>]; pueden poseer resistencia eléctrica.
- **Plancha de baja presión.** Son planchas vaporizables con calentamiento eléctrico cuyas resistencias internas producen el vapor en la propia plancha; o bien, caso más común, mediante generador de vapor que trabaja a una presión entre 1.5 y 3 [Kg/cm<sup>2</sup>] (Quilumbaquin, 2016).

- **Plancha seca.** Este tipo de plancha no utiliza vapor de agua; sino, agua en estado líquido que dotará directamente a la prenda.

### ***Mecanismos de Transferencia de Calor***

El calor se puede transferir en tres maneras diferentes: conducción, convección y radiación. Todos los modos de transferencia de calor requieren la existencia de una diferencia de temperatura y todos ellos ocurren del medio que posee la temperatura más elevada hacia uno de temperatura más baja.

**Conducción.** La conducción es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia hacia las adyacentes menos energéticas, como resultado de interacciones entre esas partículas; ésta puede tener lugar en los sólidos, líquidos o gases. En los gases y líquidos la conducción se debe a las colisiones y a la difusión de las moléculas durante su movimiento aleatorio. En los sólidos se debe a la combinación de las vibraciones de las moléculas en una retícula y al transporte de energía por parte de los electrones libres (Cengel & Afshin, 2011).

La rapidez o razón de la conducción de calor a través de un medio depende de la configuración geométrica de éste, su espesor y el material de que esté hecho, así como de la diferencia de temperatura a través de él. La propiedad importante que influye en la rapidez de conducción térmica es la conductividad térmica del material, que es una medida de la capacidad de un material para conducir calor.

**Convección.** La convección es el modo de transferencia de energía entre una superficie sólida y el líquido o gas adyacente que está en movimiento y comprende los efectos combinados de la conducción y el movimiento de fluidos. Entre más rápido es el movimiento de un fluido, mayor es la transferencia de calor por convección. En ausencia de cualquier



movimiento masivo de fluido, la transferencia de calor entre una superficie sólida y el fluido adyacente es por conducción pura (Cengel & Afshin, 2011).

**Radiación.** La radiación es la energía emitida por la materia en forma de ondas electromagnéticas (o fotones) como resultado de los cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas. A diferencia de la conducción y la convección, la transferencia de calor por radiación no requiere la presencia de un medio interventor. De hecho, la transferencia de calor por radiación es la más rápida (a la velocidad de la luz) y no sufre atenuación en un vacío. Ésta es la manera en la que la energía del Sol llega a la Tierra (Cengel & Afshin, 2011).

### ***Temperatura Segura de Planchado***

A continuación, se presenta una tabla de las propiedades térmicas de las diferentes fibras, donde se indica la temperatura segura de planchado para cada una de ellas.

**Tabla 4**

*Propiedades térmicas.*

Fibra	Punto de fusión		Punto de reblandecimiento		Temperatura segura de planchado*	
	°F	°C	°F	°C	°F	°C
<b>Fibras naturales</b>						
Algodón	No se funden				425	218
Lino	No se funden				450	232
Seda	No se funden				300	149
Lana	No se funden				300	149
<b>Fibras artificiales</b>						
Acetato	446	230	364	184	350	177
Triacetato Arnel	575	302	482	250	464	240
Acrílico			400-490	204-254	300-350	149-176
Aramida	No se funde – se carboniza a más de 800°F (430°C)					

			1400-3033			
Vidrio						
Modacrílico	410	210	300	149	200-250	93-121
Novoloid	No se funde					
Nylon 6	414	212	340	171	300	149
Nylon 66	482	250	445	229	350	177
Olefina	275	135	260	127	150	66
					(la mínima posible)	
Poliéster PET	480	249	460	238	325	163
Poliéster PCDT	550	288	490	254	350	177
Rayón	No se funde				375	191
Saran	350	177	300	149	No se plancha	
Spandex	446	230	347	175	300	149
Vinyon	285	140	200	93	No se plancha	

*Nota.* Temperatura más baja en la plancha: 185 - 255°F (85-110°C). Adaptado de *Introducción a los textiles* (p. 24), por Hollen & Saddler, 1999, Grupo Noriega Editores.

## **Características de los Tejidos de Acuerdo a su Origen de las Prendas de la Vestimenta**

### **Otavaleña**

Las prendas a las que se realiza el servicio de planchado son los anacos, fachalinas, rebosos, chales, ponchos y telas que se emplearán posteriormente en la realización de las blusas. Los materiales de los tejidos son lana pura, lana casimir, paño, poliéster, seda u orlón.

Las propiedades básicas de las fibras determinan en gran parte el cuidado que requieren los productos textiles. En las tablas Tabla 5, Tabla 6, Tabla 7 y Tabla 8 se presentan las propiedades comunes para cada tipo de fibra de acuerdo con su procedencia. Estas propiedades junto con las propiedades térmicas explicadas en la tabla anterior, permitirán justificar las características de planchado que se están aplicando con el uso de la máquina de fabricación artesanal.

**Tabla 5**

*Propiedades comunes a todas las fibras proteicas.*

<b>Propiedades</b>	<b>Importancia para el consumidor</b>
Resiliencia	Resistente al arrugamiento. Las arrugas desaparecen al colgar las prendas cuando no están en uso. Las telas tienden a mantener su forma.
Higroscopía	Confortables en clima fresco y húmedo. La humedad evita que se hagan quebradizas.
Más débiles al estar húmedas	Manejar con cuidado durante el lavado. La planta pierde alrededor del 40% de su resistencia y la seda aproximadamente un 15%.
Peso específico	Las telas se sienten más ligeras que las de celulosa del mismo espesor.
Dañadas por los álcalis	Utilizar jabón o detergente neutro o ligeramente alcalino. El sudor debilita la fibra.
Dañadas por los agentes oxidantes	Los blanqueadores a base de cloro dañan la fibra y no se deben usar. La luz solar hace que las telas blancas se tornen amarillentas.
Dañadas por el calor seco	La lana se hace rígida y quebradiza y se chamusca con facilidad con el calor seco. Utilizar vapor. La seda blanca y la lana se amarillan.
Resistencia a la llama	No se queman con facilidad, son autoextinguibles, tienen olor a cabello quemado y forman una ceniza negra triturable.

*Nota.* Tomado de *Introducción a los textiles* (p. 28), por Hollen & Saddler, 1999, Grupo Noriega Editores.

**Tabla 6**

*Propiedades comunes a todas las fibras de celulosa.*

<b>Propiedades</b>	<b>Importancia para el consumidor</b>
Buena absorbencia	Adecuada para prendas de verano. Adecuada para toallas, pañales y pañuelos.
Buen conductor del calor Capacidad de soportar temperaturas elevadas	Telas delgadas frescas para el verano. Las telas pueden hervirse o tratarse con autoclave para esterilizarlas. No se necesitan precauciones especiales durante el planchado.
Baja resiliencia	Las telas se arrugan considerablemente a menos que se le dé un acabado para evitarlo.
Carece de volumen. Pueden elaborarse hilos compactos	Los hilos pueden ser de tipo crepé. Se hacen telas resistentes al viento.
Buen conductor de la electricidad	No acumula electricidad estática.
Alta densidad	Las telas se sienten más pesadas que otras comparable de distinto contenido de fibra.
Dañadas por ácidos minerales, pero poco afectadas por ácidos orgánicos	Las manchas de frutas deben eliminarse de inmediato de una prenda para evitar que se fijen.
Resistente a las polillas	Se simplifica su almacenamiento.
Atacada por los hongos	Las prendas sucias no deben guardarse mojadas.
Inflamabilidad	Las fibras de celulosa se encienden con rapidez, arden vivamente y tienen un brillo posterior anaranjado, dejando una ceniza gris ligera. Las prendas muy delgadas o de tela muy abierta no deben usarse cerca de una flama abierta.
Resistencia moderada a la luz solar	Las cortinas deben forrarse

*Nota.* Tomado de *Introducción a los textiles* (p. 47), por Hollen & Saddler, 1999, Grupo Noriega Editores.

**Tabla 7**

*Propiedades del poliéster.*

<b>Propiedades</b>	<b>Importancia para los consumidores</b>
Resiliencia en húmedo y en seco	Resiliencia alta, prendas de cuidado fácil, telas para el hogar, prendas que pueden empacarse sin problema.
Estabilidad dimensional	Lavable a máquina.
Resistente a la degradación por luz solar	Adecuado para cortinas y colgaduras.
Durable, resistencia a la abrasión	Tiene usos industriales: puede emplearse en hilos para coser, bueno para ropa de trabajo.
Aspecto estético superior al nylon	Se mezcla bien con fibras naturales o con otras artificiales; se pueden obtener filamentos semejantes a la seda.

*Nota.* Tomado de *Introducción a los textiles* (p. 90), por Hollen & Saddler, 1999, Grupo Noriega Editores.

**Tabla 8**

*Propiedades de la fibra acrílica.*

<b>Propiedades</b>	<b>Importancia para los consumidores</b>
Efecto de los álcalis	Resistente a los álcalis débiles.
Efecto de los ácidos	Resistente a la mayoría.

Efecto de los disolventes	Puede limpiarse en seco.
Efecto de la luz solar	Excelente resistencia.
Estabilidad	Puede tratarse con calor para que retenga su forma.
Permanencia de los pliegues	Los pliegues pueden fijarse y eliminarse por medio del calor.
Efecto del calor	Termoplástica, se hace pegajosa a 450 – 490 °F.
Resistencia a las polillas y los hongos	Resistente.
Resiliencia	Mediana.

*Nota.* Tomado de *Introducción a los textiles* (p. 105), por Hollen & Saddler, 1999, Grupo Noriega Editores.

Basada en la información de las tablas anteriores Tabla 2, Tabla 4, Tabla 5, Tabla 6, Tabla 7 y Tabla 8, sobre la conductividad térmica de los tejidos, las propiedades comunes de los tejidos según su origen, las temperaturas seguras de planchado y la resiliencia; se obtiene la Tabla 9 resumen sobre las características de planchado.

### **Tabla 9**

*Tabla resumen para las características de planchado.*

<b>Prenda</b>	<b>Material</b>	<b>Resiliencia</b>	<b>Conductividad térmica [W / K.m]</b>	<b>Temperatura segura de planchado [°C]</b>
Anacos y telas para blusas	Algodón	Baja	0.07	218 (Alta)

Fachalinas y Rebosos	Paño (50% lana y 50% poliéster)	Alta	0.055 (Lana) 0.14 (Poliéster)	149 -163 (Media)
Chales	Orlón (Acrílico)	Mediana	0.18	149-176 (Media)
Ponchos	Lana o paño	Alta	0.055 (Lana) 0.14 (Poliéster)	149 (Media con vapor)

---

Como se puede apreciar en la Tabla 9, las temperaturas seguras de planchado están entre temperaturas medias de 149 a 163°C, con la diferencia del algodón que puede plancharse a temperaturas altas de 218°C. En cuanto a la resiliencia tanto la lana y el poliéster poseen una alta resiliencia; mientras que, el algodón debido a su estructura química se dobla y arrugan muy fácilmente, pero de la misma forma mediante el planchado pueden eliminarse estas arrugas.

En base a estas características térmicas y a la capacidad de resiliencia de los tejidos de las prendas, se puede argumentar que el proceso de planchado que se aplica actualmente se realiza de una buena manera que permite a las prendas salir planchadas de manera correcta.

### **Motores Eléctricos**

Un motor es una máquina eléctrica capaz de convertir energía eléctrica en energía mecánica (Chapman, 2012).

Los motores eléctricos según el tipo de corriente de alimentación se clasifican en motores de corriente continua (cc) y motores de corriente alterna (ca).

Los motores de corriente continua son máquinas que convierten energía eléctrica, que no varía en el tiempo, en energía mecánica. Estos motores son capaces de generar alto par de arranque, así como un alto par de desaceleración. Estos motores son utilizados en su mayoría

para sistemas de control de posicionamiento debido a su flexibilidad en el control de par y velocidad (Bhag & Hüseyin, 2003; Enríquez, 2005).

### Tipos de Arranques de Motores Trifásicos

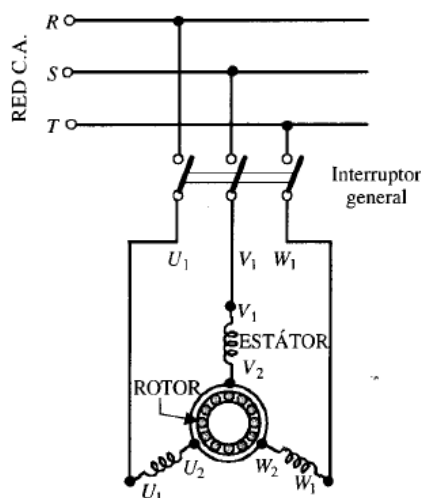
El arranque es el proceso por el cual un motor es llevado desde una velocidad nula a la velocidad de régimen permanente, para esto se debe cumplir que el par del motor supere al par resistente (Rodríguez, 2017).

#### Arranque Directo

Cuando a un motor se le aplica en forma directa a sus bornes la tensión a la que debe trabajar como se observa en la Figura 13, se le conoce como arranque directo (Roldán, 2002).

#### Figura 13

Esquema del arranque directo de motores trifásicos.



*Nota.* En la figura se observa el diagrama eléctrico del arranque directo de un motor trifásico.

Adaptado de *Máquinas Eléctricas* (p. 317), por J. Fraile, 2003, McGrawHill.

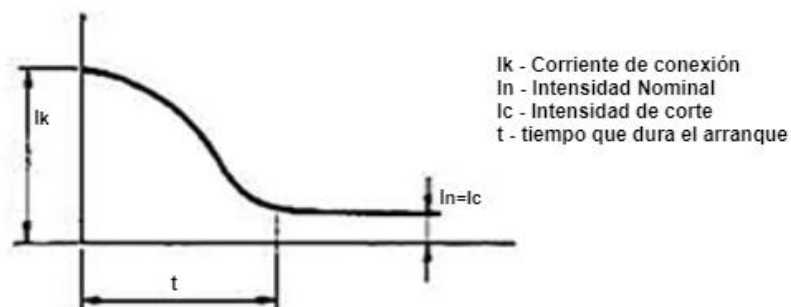
Asumiendo que el motor arranca con carga, el bobinado tiende a absorber una intensidad de corriente hasta 8 veces la intensidad nominal. Este aumento en la intensidad de corriente hace que aumente la carga en las líneas por lo que la tensión disminuye. Asumiendo



que el motor arranca con carga, las bobinas tienden a absorber una intensidad de corriente hasta 8 veces la intensidad nominal, esto es representado por la Figura 14. Este aumento en la intensidad de corriente hace que aumente la carga en las líneas por lo que la tensión disminuye (Roldán, 2002).

### Figura 14

*Comportamiento de la corriente del motor en arranque directo.*



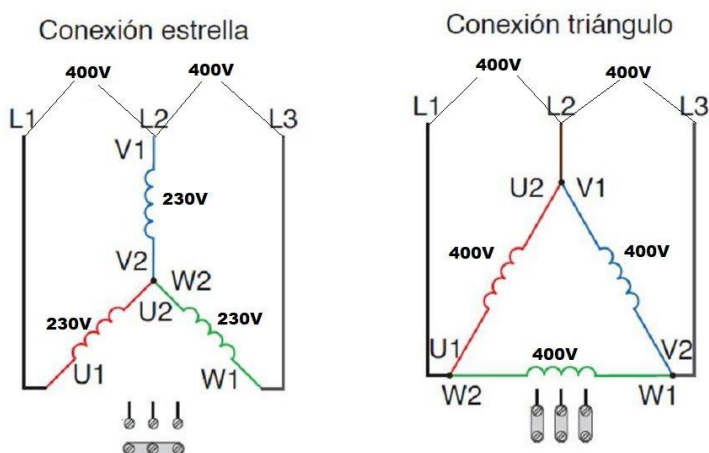
*Nota.* La figura muestra la intensidad absorbida en el momento de arranque directo del motor mostrando un aumento en la corriente que luego de un tiempo  $t$  se regulariza hasta la intensidad nominal. Adaptado de *Motores Eléctricos Automatismos de control* (p. 19), por J. Roldán, 2002, Paraninfo S.A.

### **Arranque Estrella-Triangulo**

En este arranque el motor inicia conectado según el esquema estrella, una vez que alcanza cierta velocidad se intercambia hacia un esquema de conexión triangulo, este cambio puede ser hecho a través de contactores en un tiempo específico o utilizando un arrancador del mismo nombre. Figura 15 indica la forma general de conexión de las bobinas del motor en el esquema triangulo y estrella. La forma correcta de conectar viene especificada en la chapa de cada motor dependiendo de sus terminales (Roldán, 2002).

**Figura 15**

Esquema de conexión de las bobinas de un motor en estrella y delta.

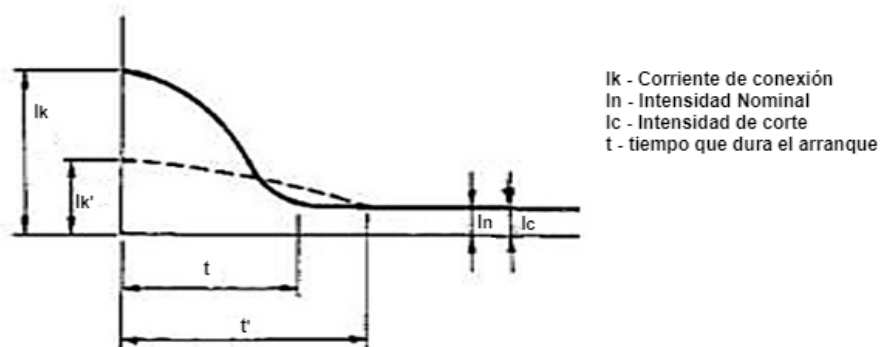


Nota. Adaptado de *Arranque Estrella Triangulo*, por Área Tecnología, 2011, Área Tecnología (<https://www.areatecnologia.com>)

Este tipo de arranque tiene como objetivo reducir la intensidad de corriente que el motor absorbe durante el periodo de arranque como lo muestra la Figura 16, comprometiendo su par. Esta forma de arranque se utiliza en motores que inician su marcha con demanda de par resistente inferior al nominal. Es recomendable no cambiar de conexión estrella a triángulo mientras el motor no haya adquirido como mínimo el 80% de la velocidad nominal (Roldán, 2002).

**Figura 16**

Comportamiento de la corriente del motor en arranque estrella – triángulo.



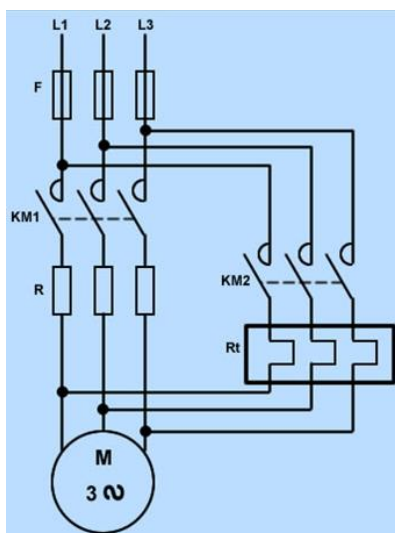
*Nota.* La figura muestra la comparativa entre el arranque directo y el arranque estrella – triángulo, donde  $I_k$ , y  $t$  corresponden a los datos de la intensidad de corriente en el arranque estrella - triángulo mientras que  $I_k'$  y  $t'$  corresponden a la corriente en arranque directo. Adaptado de *Motores Eléctricos Automatismos de control* (p. 89), por J. Roldán, 2002, Paraninfo S.A.

### **Arranque con Resistencias Estatóricas**

Este arranque de motor tiene la característica de utilizar una resistencia en serie con cada línea del motor, por ende, la velocidad y los picos de corriente de arranque se reducen, en la Figura 17 se observa el diagrama de este tipo de arranque en el cual se observa la transición de los contactores KM1 a KM2 a través de un temporizador, cortocircuitando la parte de las resistencias (Buitrón, 2000; Polanía, 2011).

### **Figura 17**

*Diagrama esquemático de potencia del arranque con resistencias estáticas.*



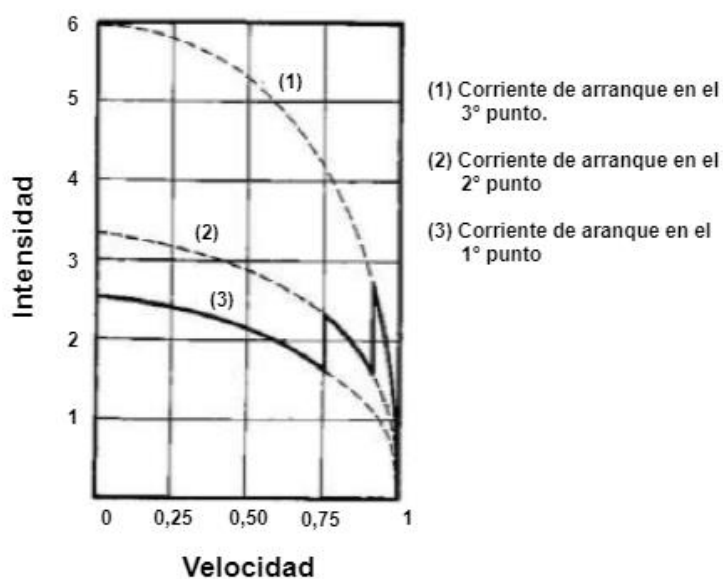
*Nota.* Adaptado de *Arranque con resistencias estáticas*, por Electricidad y Automatismos, 2007, Nichese (<http://www.nichese.com/estatoricas.html>)

Una vez que el motor haya alcanzado cierta velocidad las resistencias pueden ser desconectadas, se utilizan uno o más de un juego de resistencias las cuales son calculadas, de

esta manera se reduce los picos de corriente, por esta razón estos picos incrementan paulatinamente como se muestra en la Figura 18. En este tipo de arranque se puede tener un par elevado sin embargo su eficiencia es baja en comparación a un arranque utilizando autotransformador. Suele tener mayor aplicación en motores de mediana y gran potencia cuyo par resistente de arranque es bajo (Rodríguez, 2017; Roldán, 2002).

### Figura 18

Gráfico intensidad de corriente vs velocidad en arranque con resistencias estáticas.



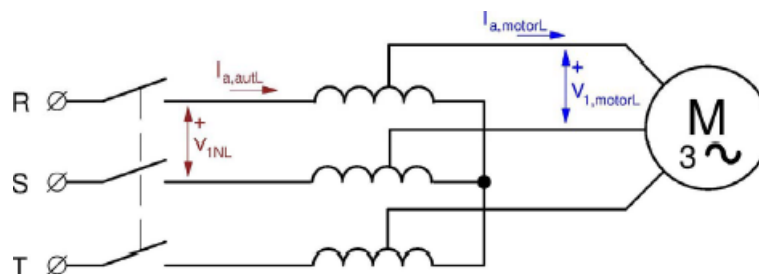
*Nota.* En la figura se observa la intensidad de corriente vs la velocidad de un arranque utilizando tres juegos de resistencias estáticas. Adaptado de *Motores Eléctricos Automatismos de control* (p. 100), por J. Roldán, 2002, Paraninfo S.A.

### Arranque con Autotransformador

Este tipo de arranque se utiliza en motores trifásicos con rotor en cortocircuito, accionan máquinas cuyo par resistente en el arranque es bajo. Tiene como objetivo reducir la corriente absorbida por el motor durante el arranque. El autotransformador es conectado a las líneas del motor de manera directa como se muestra en la Figura 19 (Rodríguez, 2017; Roldán, 2002).

**Figura 19**

Diagrama de conexión de arranque con autotransformador.

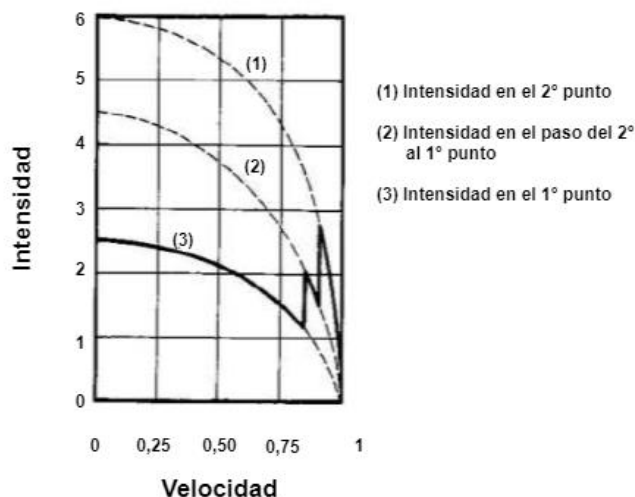


*Nota.* En la figura se observa el diagrama de conexión del arranque con autotransformador, la tensión reducida  $V_1$  es aplicada al momento del arranque mientras que la tensión  $V_{1NL}$  es la tensión completa aplicada una vez desconectado el autotransformador. Adaptado de *Arranque de motores asíncronos* (p. 9), por M. Rodríguez, 2017, Universidad de Cantabria.

El autotransformador proporciona una tensión reducida al motor en el momento del arranque, una vez que empiece a girar se cambia el tipo de alimentación a su tensión completa de línea lo que genera picos de corriente como se observa en la Figura 20 (Buitrón, 2000; Rodríguez, 2017).

**Figura 20**

Gráfico intensidad de corriente vs velocidad en arranque con autotransformador.



*Nota.* En la figura se observa la intensidad de corriente vs la velocidad en cada punto y durante el cambio al utilizar un autotransformador para el arranque. Adaptado de *Motores Eléctricos Automatismos de control* (p. 120), por J. Roldán, 2002, Paraninfo S.A.

### **Protecciones para el Control de un Motor**

La protección del motor inicia con la selección adecuada del mismo dependiendo de su aplicación o de las condiciones de servicio a la que será sometido. Todos los componentes del motor necesitan algún tipo de protección, esta puede ser un revestimiento, una señal auditiva o luminosa de alarma o la desconexión de la alimentación del motor, previniendo el daño o deterioro de las partes mecánicas o eléctricas (Buitrón, 2000).

Un motor está completamente protegido cuando su circuito de potencia consta de los siguientes elementos: fusibles y de relé térmico, magnético o magneto térmico (Roldán, 2002).

### **Protección Contra Sobrecargas**

Una sobrecarga es un fenómeno que se produce al elevarse la corriente, ocasionando un incremento en la temperatura de operación, sin necesariamente llegar a ser una corriente de cortocircuito y que puede afectar los aislamientos del motor. Por esta razón los dispositivos de protección de sobre cargas se utilizan para prevenir una sobre temperatura, a pesar de que se pueda generar daños mecánicos o magnéticos. Este efecto puede ser causado por las fluctuaciones en la tensión y frecuencia de la alimentación del motor. (Buitrón, 2000; Roldán, 2002).

Los dispositivos de protección contra sobrecargas pueden ser aparatos que interrumpen la alimentación del motor, como fusibles o sensores en las líneas que detectan una sobrecarga y mandan una señal para activar alarmas o circuitos de contactares, a través de los cuales se efectúa la desconexión. Por ejemplo, relevadores magnéticos o térmicos (Buitrón, 2000).

**Relé Térmico.** Es un elemento de protección contra sobrecargas utilizado principalmente con motores eléctricos. Al conseguir cierto nivel de temperatura se accionan los contactos del

propio relé para poder gobernar la maniobra del motor. La temperatura no es medida de manera directa sino a través de la corriente eléctrica que circula a través del dispositivo. De igual manera su accionamiento no es directo, sino que sus contactos indican a un actuador que se está produciendo una sobrecarga de esta manera el actuador estará encargado de desconectar la energía del receptor, es decir, el relé térmico no tiene poder de corte por lo que debe estar asociado a un elemento actuador.

El relé térmico tiene una respuesta inversamente proporcional a la corriente que circula a través de este dispositivo. Este equipo de protección cuenta con una respuesta relativamente lenta, por lo que no se aplican en protecciones ante cortocircuito. Para brindar una mejor protección debe combinarse un relé térmico con un dispositivo contra cortocircuitos (Solbes, 2013).

### ***Protección Contra Cortocircuitos y Fallos a Tierra***

La corriente de corto circuito en un motor es la cantidad de corriente que el sistema puede entregar en el punto de falla. Esta corriente depende de tres elementos: la capacidad de las líneas que alimentan el fallo; la capacidad de la fuente de alimentación y de otros motores que operan momentáneamente como generadores y contribuyen a la falla.

Los contactores de los arrancadores generalmente tienen una capacidad de interrupción de hasta 10 veces la corriente normal, esto permite interrumpir corrientes de sobrecarga, pero, para interrumpir corrientes de falla, que rebasan esta capacidad, se utiliza fusibles e interruptores automáticos que deben soportar la corriente de arranque sin desconectar al motor (Buitrón, 2000).

***Fusibles.*** Son dispositivos de protección frente a sobrecargas y cortocircuitos, aunque su uso más frecuente es sobredimensionarlos para que solamente brinden protección frente a cortocircuitos y combinarlos con un dispositivo de protección frente a sobrecargas. Estos

dispositivos interrumpen la circulación de corriente después de fundirse. Por esta razón deben ser reemplazados una vez actúan delante una sobreintensidad (Solbes, 2013).

Se debe tomar en cuenta la aplicación para elegir el tipo de efecto del fusible ya sea rápido, medio o lento. Por ejemplo, el arranque directo de un motor produce intensidades hasta 8 veces la intensidad nominal por lo que si el fusible es de efecto rápido se fundirá al momento del arranque (Roldán, 2002).

**Guardamotor.** Es un dispositivo constituido básicamente por un contactor y un dispositivo de protección frente a sobreintensidades (Sobrecargas y cortocircuitos). La composición tradicional de este dispositivo de protección es: fusible de protección, relé térmico y contactor. Entre sus características se encuentra la tensión e intensidad nominal, posibilidad de regular la intensidad de corte, tiene una curva de corte previamente establecida que debe ser tomada en cuenta para el arranque de los motores, además tiene la posibilidad de contactos para manejar señales de maniobra (Roldán, 2002; Solbes, 2013).

## **Sensores de Temperatura**

### **Sensores y Actuadores**

Los sensores y actuadores son parte imprescindible de cualquier sistema industrial de control automatizado. Los sensores son dispositivos electrónicos que permiten interactuar con el entorno, de forma que proporcionan información de ciertas variables que son de interés para conocer el estado de un proceso, y así el control mediante la lógica de control genere órdenes o activaciones de los actuadores; es decir, que los actuadores vendrían siendo las manos del sistema de control, permitiendo modificar lo que ocurre en la planta. Entre la señal de control y el actuador se encuentran los actuadores, que son elementos que hacen de interfaz, tomando como entrada la señal eléctrica y procediendo en el actuador, los más usados son las electroválvulas, relés, contactores, arrancadores estáticos y equipos de control de motores eléctricos.



Para el presente el proyecto la magnitud física a medir es la temperatura, así que será necesario utilizar el sensor de temperatura adecuado para la aplicación y los actuadores son las niquelinas internas de las planchas que permitirán el calentamiento de la misma modificando la variable de temperatura; los preactuadores pueden ser relés de estado sólido.

### ***Sensores de Temperatura***

La temperatura es uno de los parámetros que generalmente debe controlarse en los procesos industriales. Atendiendo al principio de funcionamiento de la mayoría de los sensores industriales, se puede distinguir los siguientes tipos de sensores térmicos:

**Termostatos.** Interruptores que conmutan a un cierto valor de temperatura, en general con una cierta histéresis. Son sensores con salida de tipo todo o nada que conmutan a un cierto valor de temperatura. Los más simples están basados generalmente en la diferencia de dilatación de dos metales y los más sofisticados se suelen construir a base de un sensor analógico o varios comparadores con histéresis (Balcells & Romeral, 1997).

**Termopares.** Sensores activos de tipo analógico basados en el efecto Seebeck. Dicho efecto consiste en la aparición de una tensión eléctrica entre dos piezas de distintos metales unidas o soldadas a un extremo, cuando éste se calienta (unión caliente) y se mantienen los otros dos extremos a una misma temperatura inferior (unión fría). La fuerza electromotriz generada depende de la diferencia de temperaturas entra la unión fría y la unión caliente.

Para ciertos materiales existe una relación bastante lineal entre la diferencia de temperaturas y la f.e.m. generada, siendo por tanto muy adecuados como transductores. Sin embargo, para recoger esta f.e.m. se deberá conectar los extremos fríos a conductores de cobre u otro metal y por el mismo efecto aparecerán unas f.e.m. de contacto, que solo se compensarán en el caso de que ambas uniones frías se mantengan a idéntica temperatura.

Por otro lado, para que la tensión de salida sea proporcional a la temperatura en la unión caliente, debe mantenerse constante la temperatura de las uniones frías, o compensarse

la f.e.m. a que darían lugar sus variaciones mediante un circuito adicional. Si se requiere una buena precisión, se prefiere generalmente compensar las variaciones de temperatura en la unión fría, aunque esto requiere un sensor adicional que suele ser una NTC (Balcells & Romeral, 1997).

Las conexiones de este tipo de sensores son particularmente sensibles a las perturbaciones, por lo que, si su instalación no se encuentra debidamente hecha, pueden causar errores y variaciones en las mediciones. Estas distorsiones pueden ser distorsiones estáticas, distorsiones magnéticas, distorsión common-mode y la distorsión diafonía o cross-talk.

**Termorresistencias RTD.** Sensores pasivos de tipo analógico basado en el cambio de resistividad de ciertos conductores eléctricos, en general, un aumento de resistencia con la temperatura según una ley que puede expresarse en forma simplificada con la ecuación:

$$R = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T)$$

Donde:

$R_0$  es la resistencia a la temperatura de referencia  $T_0$

$\Delta T$  es la desviación de temperatura respecto a  $T_0$  ( $\Delta T = T - T_0$ ).

$\alpha$  es el coeficiente de temperatura del conductor especificado a 0°C.

Aprovechando esta propiedad, se construyen sondas de temperatura, pero para ello se requiere un material cuyo coeficiente se mantenga relativamente constante y que dé una buena sensibilidad.

**Termorresistencias PTC y NTC.** Las sondas PTC y NTC son esencialmente termorresistencias a base de semiconductor. Estos suelen presentar coeficientes de sensibilidad bastante mayores que en el caso de metales, pero a costa de una gran pérdida de linealidad.

Las PTC (Positive Temperature Coefficient) son resistencias construidas a base de óxidos de bario y titanio, que muestran cambios muy bruscos de valor a partir de una cierta temperatura. Precisamente la temperatura de cambio es un parámetro característico de las PTC. Debido a su comportamiento poco lineal, se aplican básicamente en combinación con circuitos detectores de umbral como elementos todo-nada.

Las NTC son resistencias con un coeficiente de temperatura negativo (Negative Temperature Coefficient), construidas a base de óxidos de hierro, cromo, cobalto, manganeso y níquel dopados con iones de titanio o litio.

**Pirómetros de Radiación.** La medida de temperaturas con termopar o termorresistencia implica el contacto directo entre el transductor y el cuerpo cuya temperatura se desea medir. Sin embargo, este contacto resulta imposible si la temperatura a medir es superior al punto de fusión del material del transductor, o si el cuerpo caliente es muy pequeño y cambia su temperatura al efectuar la medida. En estos casos pueden utilizarse los pirómetros de radiación que miden la temperatura a partir de la radiación térmica que emiten los cuerpos calientes.

### ***Características de los Sensores de Temperatura***

Algunas de las características a tener en cuenta al momento de elegir el sensor de temperatura adecuado para una determinada aplicación son:

- **Rango de medida.** Es el rango de valores máximos y mínimos establecido de la magnitud requerida, en la que el dispositivo debería operar.
- **Linealidad.** Desviación respecto de una línea recta en la respuesta.
- **Precisión.** Máximo error esperado en la medida.
- **Offset o Desviación de Cero.** Refleja el valor de la variable de salida, cuando la variable de entrada es nula

- **Sensibilidad.** Variación de la magnitud de salida para un incremento de la magnitud a medir.
- **Resolución.** Es la mínima variación de la magnitud de entrada que se puede apreciarse en la salida.
- **Rapidez de Respuesta.** Capacidad del sistema de medida para seguir las variaciones de la magnitud de entrada.
- **Derivas.** Cambios en la curva de respuesta ante variaciones de características ambientales como puede ser temperatura, humedad, envejecimiento, etc.
- **Repetibilidad.** Error esperado al repetir varias veces la misma medida.

### **Técnicas de Control de Temperatura más Usados**

Las técnicas de control de temperatura mayormente usados son el control On-Off, control proporcional y control PID (proporcional integral derivativo) la selección adecuada de la técnica de control a ser aplicada depende del sistema a ser controlado.

#### ***Control On-Off***

Esta técnica de control es el más sencillo y barato por lo que es muy usado en la industria; debido a que su salida no cuenta con estados medios, simplemente está encendida o apagada. En el control ON/OFF la salida cambia únicamente cuando la temperatura atraviesa el Set Point.

Para el calentamiento, el controlador activa la salida cuando la temperatura se encuentra por debajo del Set Point, mientras que se apaga cuando está por encima del mismo. Cada vez que la temperatura cruza el punto de ajuste, el estado de la salida cambia, lo que provoca un proceso de oscilación continuo entre el Set Point. En ciertos casos este ciclo se produce rápidamente, que podría dañar a los contactores y válvulas del sistema.

Para evitar que esto suceda, a la programación del controlador se añade un diferencial de encendido y apagado, conocido como histéresis. Este diferencial requiere que la temperatura exceda ligeramente el punto de ajuste en cierta cantidad para desactivar la salida del sistema, y de la misma manera permite que disminuya un poco más la temperatura antes de volver a activarla; esto evita que se produzca cambios bruscos en la salida.

Esta técnica de control se utiliza generalmente cuando no es muy necesario un control preciso y se puede permitir una pequeña variación en la temperatura, o cuando el sistema no puede llegar a soportar cambios tan frecuentes de encendido y apagado del controlador, así como también en procesos donde la masa de todo el sistema es tan grande que la variación de temperatura ocurre muy lentamente, para alarmas de temperatura.

### ***Control Proporcional***

Este tipo de control está diseñado con el objetivo de eliminar el ciclo de oscilación que se tiene en el control On/Off. Esto lo logra disminuyendo la potencia media suministrada al calentador o enfriador cuando la temperatura se aproxima al Set Point sin que lo sobrepase, manteniendo una temperatura estable. Esto se lo logra manipulando el sistema de encendido y apagado en determinados intervalos de tiempo. El tiempo en la que la salida se mantiene en encendida o apagada depende de que tan lejos se encuentre la temperatura actual a la temperatura de ajuste.

La acción proporcional se produce dentro de una “banda proporcional” en torno a la temperatura requerida, ésta representa cuanta acción de control se tiene para influir en el proceso. Fuera de esta banda, el controlador se comporta como On/Off normal, con su salida totalmente On, por debajo de esta banda proporcional; o totalmente Off por encima de la misma.

### **Control Proporcional, Integral y Derivativo**

El controlador PID (Proporcional Integral Derivativo) es un método de control por realimentación que es utilizado en sistemas de control industriales. Este controlador combina tres acciones: el proporcional, el integral y el derivativo.

El valor proporcional intenta minimizar el error de sistema mediante la diferencia entre el valor actual y el set-point, al aumentar la acción proporcional aumenta la velocidad de respuesta del sistema y disminuye el error del sistema en régimen permanente, pero aumenta su inestabilidad. El valor integral se calcula integrando la señal de error, y se puede ver como la suma o acumulación de las señales de error recientes, con esto se consigue reducir el error del sistema en régimen permanente y aumenta un poco la velocidad del sistema, su desventaja radica en que añade cierta inercia al sistema y por lo tanto lo hace más inestable. Finalmente, la acción derivativa emite una acción predictiva mediante la derivación de la señal de error, prevé el error e inicia una acción correctiva oportuna respondiendo a la velocidad del cambio del error antes de que la magnitud del error se vuelva demasiado grande, al aumentar su valor se consigue aumentar la estabilidad del sistema controlado, disminuye un poco la velocidad del sistema y el error en régimen permanente permanecerá igual; por lo tanto, esta acción servirá para estabilizar una respuesta que oscile demasiado.

Estos tres parámetros se deben ajustar, sintonizar o afinar individualmente a un sistema en particular usando prueba y error. Si no se los configura adecuadamente el sistema puede quedar inestable y dañar los actuadores del proceso que se requiere controlar.

La ecuación del control PID está dada por:

$$c(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \cdot \int e(t) dt + K_d \cdot \frac{de(t)}{dt}$$

Donde:

- $c(t)$  : señal de control.
- $e(t)$  : seña de error.
- $K_p, K_i, K_d$  : parámetros del controlador PID.

O también se puede presentar de la siguiente forma:

$$c(t) = K_p \cdot e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int e(t) dt + K_p \cdot T_d \frac{de(t)}{dt}$$

Donde:

- $K_p$  : ganancia proporcional.
- $T_i$  : tiempo integral.
- $T_d$  : tiempo derivativo.

### **Controladores en el Mercado**

Para poder realizar el control de temperatura de un sistema en el mercado existe varias opciones como PLC's que en conjunto con módulos de expansión para control de temperatura o equipos de adquisición de datos son capaces de realizar este control, controladores dedicados de temperatura, relés inteligentes.

### ***Controlador Lógico Programable PLC***

Es un equipo programable diseñado para uso industrial, cuenta con una memoria programable para el almacenamiento interno de instrucciones orientadas al usuario para implantar soluciones a través de funciones lógicas, secuenciales, temporizadas, recuentos y funciones aritméticas, controlando entradas y salidas de tipo digital o analógico. Un PLC está compuesto de una unidad Central de Proceso o CPU, Memoria, Fuente de Alimentación, Reloj en tiempo real, Puerto de entradas y Puerto de salidas (Molina et al., 2019).

**Tabla 10**

*Algunos PLC's existentes en el mercado.*

Característica	Delta	Delta	Panasonic	Xinje
	DVP14SS211T	DVP32ES200T	FX- AFPX-C30PD	XC3-24RTE
<b>Alimentación</b>	24 VDC	110 – 240 VAC	24 VDC	110 – 220 VAC
<b>Entradas Digitales</b>	# 16	# 16	# 16	#14
	24 VDC	24 VDC	24 VDC	24 VDC
	5mA	5 mA	4.3 mA	7 mA
<b>Salidas Relé</b>	-	# 8 250 VAC 30 VDC 3A	-	# 8 250 VAC
	# 6	# 2	# 14	# 2
	0-24 VDC 300 mA	24 VDC 300 mA	5–24 VDC 0.5 A	5-30 VDC 800 mA
<b>Comunicación</b>	MODBUS/RTU	MODBUS TCP EtherNet/IP (esclavo)	-	Modbus RTU

### ***Relé Programable***

Los relés programables son equipos electrónicos que brindan una solución al control de circuitos de automatización. Se los conoce como programables ya que las salidas son controladas por un programa previamente cargado en este equipo. Este programa funciona en base a la información recibida en las entradas y actúa sobre las salidas (Parra & Moreno, 2019).



Tabla 11

*Algunos relés programables existentes en el mercado.*

<b>Característica</b>	<b>Controllino Mega</b>	<b>Controllino Maxi</b>	<b>Controllino Maxi Power</b>	<b>Siemens Logo 230 RCE</b>
				115-240
<b>Alimentación</b>	12/24 VDC	24 VDC	12/24 VDC	VAC
<b>Entradas Analógicas / Digitales</b>	# 5 0-12 VDC 0-24 VDC 3mA	# 12 0-24 VDC 3mA	# 4 0-12 VDC 0-24 VDC 3mA	-
<b>Entradas Digitales</b>	# 12 12/24 VDC 3mA	# 6 24 VDC 3mA	# 10 12/24 VDC 3mA	# 8 DC/AC
<b>Entradas Analógicas</b>	-	# 2 0-10 VDC	-	-
<b>Salidas Digitales</b>	# 24 12/24VDC 2A 15 PWM	# 8 24VDC 2A	# 12 12/24VDC 2A	-
<b>Salidas Relé</b>	# 16 250 VAC / 30 VDC 6A	# 10 250 VAC / 30 VDC 6A	# 5 250 VAC / 30 VDC 6A	# 4 AC/DC 10A
<b>Salidas Analógicas</b>	-	N° 2 0-10V 4-20 mA	-	-
<b>Comunicación</b>	SPI, 2xUART, I2C, RS485	SPI, 2xUART, I2C, RS485	SPI, 2xUART, I2C, RS485	-

### **Módulo de Expansión para Control de Temperatura**

Un Automata Programable podría aumentar el número de entradas y/o salidas para aumentar la funcionalidad del dispositivo o proceso. Para esto no es necesario reemplazar el automático ya que existe la opción de agregar hardware que le permita cubrir esta necesidad, este hardware se conoce como módulo de expansión. Existen módulos que permiten aumentar el número de entradas de tipo digitales, analógicas, termocupla y RTD. Otro tipo de expansión se utiliza para aumentar las salidas digitales, analógicas, relé o transistor. Además, existen módulo de expansión mixtos es decir combinan la funcionalidad de aumentar salidas y entradas (Hurtado, 2019).

**Tabla 12**

*Algunos módulos de expansión de temperatura existentes en el mercado.*

<b>Característica</b>	<b>Delta DVP16SN11TS</b>	<b>Xinje XC-E6TAC-P</b>	<b>Siemens LOGO AM2 RTD</b>	<b>Panasonic AFPX-RTD2</b>
<b>Alimentación</b>	24 VDC	24 VDC	24 VDC	24 VDC 100-200 VAC
<b>Tipo de modulo</b>	Salidas Transistor	Temperatura	Temperatura	Temperatura
<b>Entradas</b>	-	# 6 Termocupla: K, S, E, N, J, T, R	# 2 PT100 / PT1000	# 2 PT100
<b>Salidas</b>	# 16 Corriente 0.3 A max 0-24 VDC	#6 Transistor 0-24 VDC	-	-

### **Tarjetas de Adquisición de Datos**

Son dispositivos semejantes a las tarjetas de expansión para computadora, que tienen como función adquirir señales y hacer la conversión analógica-digital. Estos equipos por lo

general tienen gran cantidad de canales de entrada, una alta velocidad de muestreo, una adecuada sensibilidad de acuerdo con a las señales (Chicala, 2015).

**Tabla 13**

*Algunas tarjetas de adquisición de temperatura existentes en el mercado.*

<b>Característica</b>	<b>DAS-TC16</b>	<b>SRND-DAM-KT</b>	<b>Adamtech ADAM-4018+</b>
<b>Alimentación</b>	24 VDC	12-24 VDC	24 VDC
<b>Tipo de Entradas</b>	# 16 Termocupla K	# 8 Termocupla K, T	# 8 Termocupla tipo J, K, T, E, R, S, B
<b>Resolución AD</b>	16 bits	16 bits	16 bits
<b>Tipo de Control</b>	0-1200°C	0-1350°C	0-1800°C
<b>Comunicación</b>	Modbus/RTU	Modbus/RTU	Modbus/RTU

### ***Controlador Dedicado de Temperatura***

Los controladores de temperatura son unos equipos de control utilizados para mantener exclusivamente el control térmico de algún proceso en el cual la variable de control llamada temperatura sea un factor primordial para el resultado exitoso de un proceso industrial (JM Industrial Technology, 2021).

**Tabla 14**

*Algunos controladores dedicados de temperatura existentes en el mercado.*

<b>Característica</b>	<b>Delta DTE10T</b>	<b>Bielco BTC9300</b>
<b>Alimentación</b>	24 VDC	90 – 264 VAC
<b>Tipo de Entradas</b>	# 8 Termocuplas: K, J, T, E, N, R, S, B, L, U, TXK RTD: Pt100, JPt100, Cu50, Ni120	# 1 24 VDC 5 mA
<b>Tipo de Salidas</b>	# 8 Relay: 250VAC, 3A Pulso de Voltaje: 12 VDC, 40 mA Corriente: 4 - 20 mA Voltaje Analógico: 0 – 10 VDC	# 1 Relay: 240VAC, 2A SSR: 5 VDC, 30 mA
<b>Tipo de Control</b>	PID PID Programable On /Off Manual	PID PID Programable On /Off Manual
<b>Comunicación</b>	MODBUS/RTU	MODBUS/RTU

### **Protecciones Eléctricas**

Existen tres tipos de protecciones en instalaciones eléctricas: protección contra cortocircuitos, protección contra sobrecargas, protección contra electrocución.

#### ***Protección contra Cortocircuitos y Sobrecargas***

Dos de los dispositivos más empleados para la protección contra cortocircuitos y sobrecargas: son los fusibles y los interruptores o disyuntores termomagnéticos.

**Fusible.** Consta de una pieza o filamento de metal que cuando se calienta por encima de una temperatura determinada se rompe, esto provoca la interrupción del flujo eléctrico. Los fusibles responden más rápido que los interruptores termomagnéticos, pero una vez afectados deben ser reemplazados por nuevos fusibles.

**Interruptor Termomagnético.** Un interruptor termomagnético, es un dispositivo capaz de interrumpir la corriente eléctrica de un circuito cuando ésta sobrepasa ciertos valores máximos. Su funcionamiento se basa en dos de los efectos producidos por la circulación de corriente eléctrica en un circuito: el magnético y el térmico (efecto Joule). Poseen tres sistemas de desconexión: manual, térmico y magnético. Cada uno puede actuar independientemente de los otros, estando formada su curva de disparo por la superposición de ambas características, magnética y térmica.

Los parámetros más importantes que definen un disyuntor son:

- Calibre o corriente nominal: corriente de trabajo para la cual está diseñado el dispositivo. Existen desde 5 hasta 64 amperios.
- Tensión de trabajo: tensión para la cual está diseñado el disyuntor. Pueden ser monofásicos (110-220 V) o trifásicos (300-600 V).
- Poder de corte: intensidad máxima que el disyuntor puede interrumpir. Con mayores intensidades se pueden producir fenómenos de arcos eléctricos o la fusión y soldadura de materiales que impedirían la apertura del circuito.
- Poder de cierre: intensidad máxima que puede circular por el dispositivo al momento del cierre sin que ésta sufra daños por choque eléctrico.
- Número de polos: número máximo de conductores que se pueden conectar al interruptor automático. Existen de uno, dos, tres y cuatro polos.

### ***Protección contra Electrocutación***

La protección contra electrocución se lo evita mediante dos métodos, el uso de un interruptor diferencial y mediante la puesta a tierra.

**Interruptor Diferencial.** También conocido como RCD, RCCB, GFCI o dispositivo diferencial residual (DDR), es un dispositivo electromagnético que se coloca en las instalaciones eléctricas de corriente alterna con el fin de proteger a las personas de accidentes provocados por el contacto con partes activas de la instalación (contacto directo) o con elementos sometidos a potencial debido, por ejemplo, a una derivación por falta de aislamiento de partes activas de la instalación (contacto indirecto). También protegen contra los incendios que pudieran provocar dichas derivaciones. Este dispositivo se encarga de monitorear en todo momento la corriente de entrada con la de salida y cuando se detecta una diferencia que supera la establecida por el tipo de interruptor (por lo regular 30mA), se dispara para abrir el circuito y así proteger a la persona de un posible accidente.

**Puesta a Tierra.** La puesta a tierra de las masas metálicas consiste en la unión eléctrica entre todas las masas metálicas de una instalación eléctrica y un electrodo, conocido como tierra física: una varilla de cobre enterrada en el subsuelo para dispersar cargas eléctricas accidentales.

### **Normas para el Diseño Eléctrico y de Control**

Para realizar un correcto diseño e instalación de un tablero de control es necesario seguir ciertas normas y condiciones, con el fin de garantizar la protección de los elementos de maniobra y control, y fundamentalmente al operador. Entre las normas a considerarse se tiene la norma NEC-SB-IE sobre instalaciones eléctricas, NEC-15 de instalaciones electromecánicas y la IEC 61439, que garantiza los niveles de seguridad tanto de los equipos instalados, las personas que ocupan y la vida útil del tablero.

## Instalación de Puesta a Tierra

La instalación de puesta a tierra es la unión eléctrica, con la tierra de una parte de un circuito eléctrico. Dicha instalación está constituida por uno o varios electrodos enterrados y por las líneas de tierra que conecten dichos electrodos a los elementos que deban quedar puestos a tierra.

La función de la puesta a tierra es la de forzar la derivación de las intensidades de corriente hacia el terreno con esto se limita la diferencia de potencial entre estructuras metálicas y tierra disminuyendo el riesgo eléctrico que afecte a la salud de las personas (García, 1999).

Todos los equipos eléctricos, electrónicos, carcazas, gabinetes, racks y cualquier objeto metálico debe ser aterrizado por medio de una varilla de acero de 1.80 m de alto y un espesor de acuerdo a la Tabla 15, conectados con conductor aislado o desnudo calibre No. 8 AWG (Comité Ejecutivo de la Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2013).

**Tabla 15**

*Requisitos para electrodos de puesta a tierra.*

Tipo de Electrodo	Materiales	Dimensiones Mínimas			
		Diámetro mm	Área mm <sup>2</sup>	Espesor mm	Recubrimiento µm
	Cobre	12,7			
	Acero inoxidable	10			
Varilla	Acero galvanizado en caliente	16			70
	Acero con recubrimiento electrodepositado de cobre	14			100

	Acero con recubrimiento total en cobre	15		2000
	Cobre	20	2	
	Acero inoxidable	25	2	
Tubo	Acero galvanizado en caliente	25	2	55
	Cobre		50	2
Fleje	Acero inoxidable		90	3
	Cobre cincado		50	2
	Cobre	1,8 para cada hilo	25	
Cable	Cobre estañado	1,8 para cada hilo	25	
	Cobre		20000	1,5
Placa	Acero inoxidable		20000	6

*Nota.* Comité Ejecutivo de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (2013, p.72) Esta tabla muestra los requisitos mínimos en cuando a medición de los electrodos de puesta a tierra dependiendo de su material de fabricación.

En razón a que la resistencia de puesta a tierra es un indicador que limita directamente la máxima elevación de potencial y controla las tensiones transferidas, pueden tomarse los valores máximos de resistencia de puesta a tierra descritos en la Tabla 16 (Comité Ejecutivo de la Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2013).



**Tabla 16***Valores de resistencia de puesta a tierra.*

<b>Aplicación</b>	<b>Valores máximos de resistencia de puesta a tierra</b>
Estructuras de líneas de transmisión	20 OHMS
Subestaciones de alta y extra alta tensión	1 OHMS
Subestaciones de media tensión	10 OHMS
Protección contra rayos	10 OHMS
Neutro de acometida en baja tensión	10 OHMS

*Nota.* Comité Ejecutivo de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (2013, p.72) Esta tabla muestra los valores máximos de resistencia que debe tener la instalación de puesta a tierra dependiendo de su aplicación.

## Capítulo III

### Ingeniería Básica

#### Estado Inicial de la Máquina de Planchado Textil de Fabricación Artesanal

##### ***Generalidades***

La máquina de planchado textil del presente proyecto fue fabricada artesanalmente hace más de 20 años, desde entonces ha sufrido varias modificaciones tanto en su funcionamiento como en su operación. Actualmente, la máquina posee 12 planchas metálicas de tol negro de dimensiones aproximadamente de 1m de ancho por un 1m de largo y de espesor 1.5cm, las cuales en su interior se encuentra un sistema de niquelinas que permite el calentamiento de las mismas para el proceso de planchado. Además, por medio de un motor y con la ayuda de un sistema de poleas y engranajes conectadas a un tornillo sin-fin, eleva o desciende una plataforma que realiza la compactación de los bloques de las prendas indígenas preparadas con anterioridad, estos bloques corresponden a intercalar planchas de cartón con las prendas como anacos, ponchos o fachalinas. Esta presión ejercida sobre las prendas junto con la temperatura aportada por las planchas metálicas permite realizar el proceso de planchado de las prendas. A continuación, se explica de manera detallada el estado antes de la modernización de los bloques para las etapas: eléctrica, sensado, control y operación de la máquina de planchado textil.

##### ***Etapas Eléctricas antes de la Modernización***

La máquina de planchado textil funciona con alimentación trifásica, emplea 3 líneas para energizar el motor y 2 líneas para energizar las niquelinas que se encuentran dentro de las planchas metálicas.

Las características técnicas que se indican en la placa del motor que permite el prensado de los bloques de prendas se presentan en la Tabla 17:

Tabla 17

*Características del motor trifásico.*

<b>Características del Motor</b>	
<b>Marca</b>	General Electric
<b>Modelo</b>	Motor: 5K63AC820 Engranaje: 7G128D1
<b>Velocidad de marcha</b>	487 rpm
<b>Relación de transmisión</b>	3.55 a 1
<b>Potencia mecánica</b>	½ HP
<b>Tensión nominal</b>	220 V
<b>Corriente nominal</b>	1.6 A
<b>Fase</b>	3
<b>Ciclo</b>	60 Hz
<b>Velocidad del motor</b>	1725 rpm
<b>Temperatura de funcionamiento</b>	40 °C
<b>Tiempo de funcionamiento</b>	Continuo a carga y temperatura nominal

Figura 21

*Placa de información técnica del motor trifásico.*



Uno de los riesgos eléctricos que se encontró en el manejo del motor es la manera en el que se realizaba el cambio de giro para la elevación o descenso de la plataforma de prensado, esto se lo efectuaba mediante un breaker de cuchilla que se lo utilizaba como una palanca de tres posiciones para un arranque directo del motor. Cuando la palanca se encuentra en la posición de arriba permite el giro horario del motor que eleva la plataforma; cuando la palanca se encuentra abajo, el motor invierte su giro y hace descender la plataforma, y si se mantiene la palanca en la mitad de su recorrido el motor permanece estático. Esta manera en que se maneja el motor es muy peligrosa ya que puede causar accidentes eléctricos al operador o en su defecto afectar el estado del motor. Además, los conductores de estas conexiones se encuentran desgastados al igual que los contactos de conexión al breaker de cuchilla.

### **Figura 22**

*Interruptor de cuchilla para manejo del motor.*



Las niquelinas que se encuentran internamente de las planchas metálicas para realizar el calentamiento de las mismas poseen las siguientes características.

**Tabla 18**

*Características de las niquelinas.*

<b>Características de las Niquelinas</b>	
<b>Marca</b>	Convair
<b>Voltaje nominal</b>	110VAC
<b>Potencia nominal</b>	600W
<b>Tipo</b>	Bobina enrollada de calentamiento, aislada con cuencas de cerámica.

**Figura 23**

*Funda de empaquetado de las niquelinas.*



*Nota.* En la funda se puede apreciar las características eléctricas y físicas de las niquelinas.

Estas se encuentran distribuidas internamente en un circuito de niquelinas conectadas en serie permitiendo así una mejor disipación de calor y pudiendo hacerlas trabajar con alimentación bifásica de 220VAC.

Otro riesgo eléctrico que se identificó fue en la alimentación bifásica de las niquelinas. Para esto se estaba empleando un breaker de cuchilla que permitía activar y desactivar la energización de todas las planchas. El cableado y las barras de distribución de este conexionado se encontraban expuestos y desgastados, de la misma manera no se había realizado hace algún tiempo un mantenimiento interno a las planchas para verificar el estado de las niquelinas. Además, la manera en que se desenergizaba era desenchufando manualmente el conector de la energía de cada plancha. Las situaciones comentadas anteriormente son fuentes de riesgos que puede ocasionar accidentes por contacto eléctrico directo o indirecto al operador o cualquier persona que se encuentre cerca del área de trabajo.

#### **Figura 24**

*Alimentación eléctrica de las planchas para el proceso de calentamiento.*



**Figura 25**

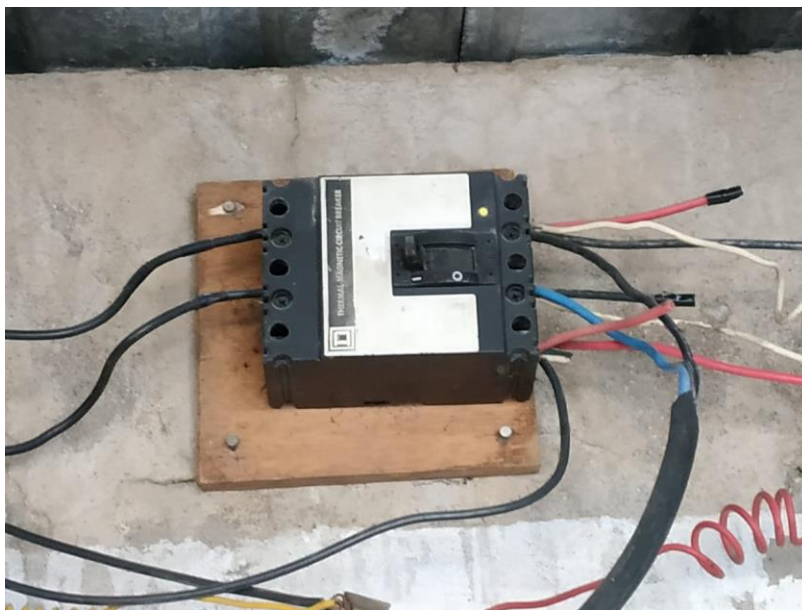
*Planchas conectadas a la alimentación.*



Otro problema que se evidenció es la conexión eléctrica para la alimentación general de la máquina. Ésta llegaba desde el medidor trifásico de la empresa eléctrica pasando por un interruptor termomagnético trifásico de 100A que era la única protección existente, este interruptor tenía uno de sus contactos en mal estado por lo que únicamente ingresaban dos líneas eléctricas del sistema trifásico, mientras la línea faltante se dirigía directamente hacia la máquina; además, los conductores eléctricos se encontraban expuestos a la intemperie sin ninguna tubería eléctrica que permita protegerlos. Adicionalmente, la conexión eléctrica es compartida con una mecánica que se encuentra en el mismo lugar, y únicamente se encontraban empalmados cables para extender la energía hacia esta mecánica; todas estas situaciones conllevan riesgos eléctricos debido a la falta de conocimientos técnicos durante la instalación eléctrica.

**Figura 26**

*Interruptor termomagnético trifásico con falla en sus contactos.*



### ***Diagrama Unifilar de la Máquina de Planchado antes de la Modernización***

En el Anexo 1, se puede apreciar el diagrama unifilar de la conexión eléctrica de la máquina de planchado textil antes de la modernización.

### ***Etapas de Sensado antes de la Modernización***

Para el sensado de temperatura de las planchas metálicas se lo realizaba de manera manual con ayuda de termómetros analógicos de aguja, estos se los introducía en agujeros realizados en un costado de la plancha. Cuando la temperatura medida por el termómetro alcanza los 85°C las niquelinas correspondientes a cada plancha se cortaba la energía. No todas las planchas alcanzan los 85°C y tampoco lo hacen al mismo tiempo, además no se contaba con termómetros de aguja para cada plancha; por lo que, gracias a la experiencia del operador, se tenía una plancha referencial la cual al llegar a los 85°C se la desconecta y posteriormente las demás planchas se las va desconectando después de cierto tiempo que el operador ya conocía.



**Figura 27**

*Termómetro de aguja para medición de temperatura de las planchas.*



### ***Etapa de Control antes de la Modernización***

La máquina operaba de manera manual. Las planchas metálicas son conectadas individualmente a sus tomas de 220 VAC al iniciar el proceso y al finalizar.

El motor es accionado por el operador a través de un interruptor de cuchillas haciendo que este gire en sentido horario o antihorario para subir o bajar las planchas según sea el caso.

Para verificar la temperatura de las planchas y debido a que no se cuenta con el suficiente número de sensores, utilizando solamente un termómetro de aguja que es ingresado por el operador, en ciertas planchas se verifica si la temperatura es la deseada para proceder con la desconexión de la energía utilizando el interruptor de cuchillas.

Debido a que el interruptor de cuchillas se activa al iniciar el proceso y desactiva al desconectar todas las planchas luego de que se haya terminado, y todo este proceso es realizado por el operador se indica que es un tipo de control ON-OFF de manera manual.

### ***Etapas de Operación antes de la Modernización***

La operación de la máquina se realiza de manera totalmente manual.

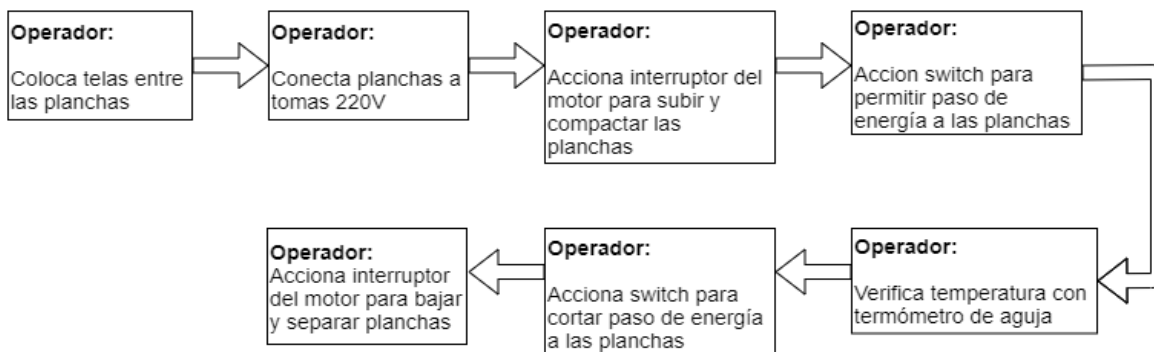
El primero paso es conectar cada plancha a su toma de 220 VAC. Una vez conectado se activa el interruptor de cuchilla moviendo este hacia la posición superior para accionar el motor y que éste, eleve las planchas hasta compactarlas para generar presión sobre la tela, cuando haya llegado a la posición de altura máxima se desactiva el motor colocando el interruptor de cuchillas en la posición central. Una vez compactas se acciona el interruptor de cuchillas de las planchas para permitir el paso de energía eléctrica hacia las niquelinas.

La máquina permanecerá en esta posición hasta que todas las planchas alcancen la temperatura adecuada para el planchado, según la experiencia del operador esta es a los 85 °C. Para esto el operador ingresa un termómetro de aguja por pequeños orificios que existen en cada una de las planchas.

Una vez llegado a esta temperatura se corta la energía cambiando de posición el interruptor de las planchas. Finalmente, se activa el interruptor del motor de tal manera que este permita descender las planchas hasta su posición inicial para retirar las prendas de vestir de la máquina. Como proceso final se desconecta cada plancha de su toma de corriente.

**Figura 28**

*Flujo de proceso de operación.*



*Nota.* La figura muestra el flujo del proceso en la etapa de operación previo a la modernización de la máquina, donde denota que en toda la etapa interviene el operador.

## **Diseño de la Modernización de la Máquina de Planchado Textil de Fabricación Artesanal**

### ***Diseño de Etapa Eléctrica***

**Estudio de la Carga.** Para diseñar el sistema de protección eléctrica se evaluó la demanda máxima de potencia de la máquina. Esto permitirá conocer las características que deben poseer las protecciones a adquirir tanto para protección de los equipos y del operador, así como también permitirá el dimensionamiento de los conductores de potencia y control.

- **Carga de circuito interno de niquelinas de las planchas**

Primeramente, para realizar el estudio de carga del circuito de niquelinas se efectuaron mediciones tanto de voltaje de línea, como de corriente de línea de consumo; así como también se realizaron mediciones de la resistencia total del circuito de niquelinas de cada plancha. Se debe aclarar que cada plancha se está alimentando de dos fases sin neutro, es decir un sistema de dos fases a 2 hilos.

Para un sistema bifásico se tiene que la potencia es:

$$P = 2 V_f I_f$$

Como:

$$V_L = \sqrt{3} V_f \rightarrow V_f = \frac{V_L}{\sqrt{3}}$$

$$I_f = I_L$$

Entonces, la potencia se calcula con la siguiente ecuación:

$$P = 2 \frac{V_L}{\sqrt{3}} I_L$$

**Tabla 19**

*Estudio de carga de las planchas.*

N° Plancha	Resistencia [Ω]	Voltaje de Línea [V]	Corriente de Línea [A]	Potencia [W]
1	75.7	110	2.69	341.68
2	75.3	110	2.62	332.78
3	60.2	110	3.39	430.59
4	76.6	110	2.66	337.87
5	76.2	110	2.66	337.87
6	78.6	110	2.62	332.78
7	77.6	110	2.68	340.41
8	75.5	110	2.66	337.87
9	63.3	110	3.09	392.48
10	66.0	110	3.10	393.75
11	91.7	110	3.26	414.08
12	67.9	110	3.31	420.43
<b>Total</b>			34.74	4412.59

Como se aprecia en la Tabla 19, cada plancha necesita aproximadamente 3.5A de corriente lo que equivale en promedio a 367.71W de potencia de consumo. En total, el sistema de niquelinas de toda la máquina requiere de 34.74A.

- **Carga del motor trifásico**

Como se observó en la anterior sección donde se reunió la información técnica del motor, existen algunas características importantes a tomar en cuenta. El motor es un motor trifásico asíncrono jaula de ardilla, cuya potencia mecánica nominal es de ½HP y corriente nominal de 1.6A. Estos datos se deben considerar para la selección de los elementos de protección y maniobra que se requieran para el funcionamiento y control del motor.

Un punto importante a considerar es que el método que se emplea para poner en funcionamiento el motor es el arranque directo, por lo que la corriente de arranque se la considera como 5 a 8 veces la corriente nominal, dando como resultado una corriente de arranque máxima de 12.8A.

- **Carga de luces de señalización**

La señalización es importante para conocer el estado del proceso y las alarmas de posibles fallos que puedan suceder. Para esto se propone 4 luces piloto, dos para la parte de alarmas de alta y media prioridad; y otras 2 para indicar el estado del proceso, una indica que se está dando el proceso de planchado y otra que señale si el estado del motor es habilitado o deshabilitado. Cada luz piloto requiere de 110V – 220VAC y una corriente de 20mA, por lo que individualmente una luz piloto disipa 5W aproximadamente, lo que daría en total de 20W de potencia disipada y 0.08A de corriente por parte de todas las luces de señalización en el tablero.

- **Carga de equipos**

Se debe tomar en cuenta que para la etapa de control se utilizarán equipos como el controlador, los módulos de adquisición, fuentes de alimentación y preactuadores; estos

también tienen un consumo energético que se debe tomar en cuenta, aunque no sean muy significativos.

- Controlador - Potencia: 11W; Corriente 0.1A
  - Consumo de fuente DC - Potencia: 132W; Corriente:1.2A
  - Consumo de SSR - Potencia individual: 0.4 W Corriente individual; 0.018A
- Potencia total (12 planchas): 5W; Corriente total (12 planchas): 0.216A.

Esto da un total de aproximadamente 1.6A. Para evitar cualquier inconveniente se considerará un incremento de 5% a este valor, lo que da un valor aproximado de 2A que será la corriente que necesitan los demás equipos.

En la Tabla 20, se resumen el consumo de potencia y la corriente necesaria de toda la implementación los cuales se deberán tomar en cuenta para el diseño del diagrama eléctrico y para la selección de los elementos de protección.

#### **Tabla 20**

*Consumo total de corriente de los elementos.*

<b>Ítem</b>	<b>Consumo de corriente [A]</b>	<b>Potencia de consumo [W]</b>
Circuito total de niquelinas	34.74	4412.59
Motor trifásico	12.8	0.00037
Luces de señalización	0.08	20
Otros equipos	2	148
<b>Total</b>	<b>49.62</b>	<b>4580.6</b>

**Estudio de la carga.** A continuación, en la

Tabla 21, se realiza un listado de los elementos de protección y elementos de maniobra necesarios para la aplicación.

**Tabla 21***Elementos de protección, maniobra y señalización.*

<b>Función</b>	<b>Equipo</b>	<b>Características</b>
Protección contra sobrecargas y cortocircuitos general.	Interruptor termomagnético (CM)	3 polos Corriente mínima: 49.62A
Protección de electrocución del operador.	Interruptor diferencial	4 polos Corriente mínima: 49.62A
Protección contra sobrecargas y cortocircuitos para los equipos de la etapa de control.	Interruptor termomagnético	2 polos Corriente mínima: 2A
Protección contra sobrecargas y cortocircuitos para las salidas del controlador	Interruptor termomagnético	2 polos Corriente mínima: 1A
Protección contra sobrecargas y cortocircuitos para cada niquelina	Interruptor termomagnético	2 polos 3.5A
Protección contra sobrecargas y cortocircuitos para el motor trifásico.	Interruptor termomagnético / Guardamotor	3 polos Potencia: 1/2HP Corriente nominal: 1.6A
Giro horario del motor trifásico.	Contactador trifásico	3 polos Corriente mínima: 12.8A
Giro antihorario del motor trifásico.	Contactador trifásico	3 polos Corriente mínima: 12.8A

---

Conocer la el estado del proceso y las alarmas de posibles fallos que puedan suceder.	Luces Piloto	-
Preactuador	Relés de estado sólido	-
Enviar una señal digital al controlador para que se dé un paro de emergencia.	Pulsador paro de emergencia	-
Encender o apagar el sistema.	Selector de dos posiciones	-

---

### ***Diagrama Esquemático de la Máquina de Planchado Modernizada***

En el diagrama esquemático presente en el Anexo 2 se puede observar el diseño eléctrico que se ha realizado.

### ***Diagrama Unifilar de la Máquina de Planchado Modernizada***

En el Anexo 3, se encuentra el diagrama unifilar de la máquina de planchado modernizada.

### ***Diseño de Etapa de Sensado***

**Comparación de Sensores de Temperatura.** Inicialmente, se realizó una comparación de los tipos de sensores de temperatura mayormente utilizados para realizar la selección del más adecuado para el presente proyecto. En la Tabla 22, se observa el resultado de esa comparación.

### **Tabla 22**

*Comparación de características de sensores de temperatura.*

---

Características	Sensor
-----------------	--------

---



	Termostatos	Termopares	Termorresistencias	Termorresistencias	Sensor Digital
			RTD	PTC y NTC	DS18B20
Característica	Dilatación bimetalicos	Tensión térmica	Resistencia	Resistencia	Circuito integrado Semiconductores
Costo del sensor	Bajo	Bajo	Moderado	Bajo a moderado	Bajo
Costo del sistema	Bajo	Alto	Moderado	Bajo a moderado	Moderado
Rango de medida	Varios rangos Fijo o variable	-270° a 1800°C	-200° a 850°C (600°C máx., típicamente)	-100° a 500°C (125°C máx. típicamente)	-55° a 125°C
Linealidad	-	Moderada	Excelente	No es lineal	-
Susceptibilidad al ruido eléctrico	Baja	Alta	Baja	Baja	Baja
Estabilidad	Moderada	Moderada	Alta	Moderada	Moderada
Sensibilidad	-	40µV/°C	0.3%/°C	-4%/°C	-
Precisión	Baja	Media	Alta	Media	Media
Rapidez de respuesta	Baja	Media	Media	Baja a media	Alta
Derivas	Baja	Moderada Naturaleza de construcción	Moderada Expansión térmica, golpes mecánicos y vibraciones	Moderada Expansión térmica, golpes mecánicos y vibraciones	Baja
Repetibilidad	Media	Media	Alta	Baja	Alta
Resolución	-	0.1°C	0.1°C	Buena a temperaturas bajas Mala a temperaturas altas	9-bit 0.5°C 10-bit 0.25°C 11-bit 0.125°C 12-bit 0.0625°C

*Nota.* Adaptado de (Purtschert, 2014) y (Miranda, s/f)

En la Tabla 22 no se ha tomado en cuenta a los pirómetros de radiación, debido a que su uso está dirigido para mediciones de temperaturas muy elevadas donde no es posible

efectuar la medición por contacto; en el caso del proceso de planchado que se realiza con la máquina la temperatura no sobrepasa los 100°C por plancha, lo que permite descartarlo de primera instancia. En la Tabla 22 se incluyó al sensor DS18B20 por presentarse como una posible solución que se puede encontrar en el mercado, es un sensor digital cuyo funcionamiento está basado en semiconductores y su salida es digital.

Con la comparación realizada de los sensores de temperatura, se han obtenido las siguientes conclusiones. En primer lugar, se tiene los termostatos, los cuales son sensores discretos, es decir todo o nada, que mediante su contacto incluido ya sea normalmente abierto o cerrado, permiten activar o desactivar el actuador cuando se ha llegado a la temperatura configurada controlando de esta forma la temperatura; no son susceptibles al ruido eléctrico y su costo es bajo. Sus desventajas son baja rapidez de respuesta y baja precisión, pues su error varía en  $\pm 5^{\circ}\text{C}$ ; pero su principal inconveniente es que no permite el control ni supervisión de temperatura de la plancha, pues no brinda ninguna señal medible que permita conocer el valor de temperatura al que se encuentra el objeto. Otro factor en contra es su proceso de seteo el cual es impreciso al configurar la temperatura de setpoint al que debe llegar el proceso; además, la energización del sistema es constante por lo que se debería implementar un método adicional que permita elegir en el momento y el número planchas que se desean utilizar para poder proceder a energizarlas.

Otra posibilidad de sensor de temperatura es el DS18B20, el cuál al ser un sensor digital se tiene una mejor precisión, estabilidad e inmunidad al ruido eléctrico. Además, el sensor DS18B20 trabaja con el protocolo 1-wire, que es una comunicación serial asíncrona, basada en un bus, un maestro y varios esclavos de una sola línea de datos en la que además se alimenta. Los módulos de adquisición de datos para estos sensores vienen incorporados con protocolos de comunicación industrial para comunicación con PLC. Existe la presentación

en bulbos para soportar inmersiones en agua; sin embargo, no presenta gran robustez para un entorno industrial.

Los sensores como los RTD o las termorresistencias NTC y PTC poseen excelentes características en comparación con los termopares, como son buena estabilidad, precisión, velocidad de respuesta, repetibilidad y baja susceptibilidad al ruido eléctrico. Sin embargo, la deformación que se puede presentar en estos sensores los hace proclives a derivas en las lecturas, y tomando en cuenta que en el proceso de planchado se incluye el prensado, estos pueden verse afectados si por alguna situación sufren deformaciones, ya que su resistencia varía y por ende las lecturas de la temperatura. Así mismo, sus costos en presentación de bulbo para ambiente industrial son elevados en comparación con los termopares; los módulos de adquisición para estos sensores poseen pocas entradas (de 1 a 4) y la aplicación para este proyecto involucra realizar 12 mediciones de temperatura.

Finalmente, se tiene los termopares con características moderadas de linealidad, estabilidad, precisión, repetibilidad y rapidez de respuesta. Su desventaja radica en la susceptibilidad al ruido eléctrico, pero esto se lo puede solventar mediante una buena instalación; además, la existencia de este tipo de ruido en esta aplicación de proceso de planchado no es significativa. Los módulos de adquisición de temperaturas para este tipo de sensores poseen mayor cantidad de entradas para termopares, y adicionalmente existen módulos que incorporan salidas para relés de estado sólido, que permiten controles tanto PID y On-Off.

**Selección de Sensores de Temperatura.** Con el análisis realizado anteriormente se escogieron dos sensores para ser probados que son los termopares y los DS18B20. Existen varios tipos de termopares de acuerdo al material con el que están contruidos, lo que les da características particulares para ser aplicadas en diferentes aplicaciones y cubrir diferentes necesidades. La norma europea IEC 60584.1 (BS EN 60584.1) hace referencia a los tipos de

termocuplas y las temperaturas frente a la f.e.m. generada. La normativa cubre ocho tipos de termopares de uso más común, haciendo referencia a las designaciones alfanuméricas de cada tipo, las cuales son reconocidas internacionalmente. En la Tabla 23, se resumen los tipos de termopares de acuerdo a los materiales utilizados para su construcción; en general se dividen en dos categorías principales: los de metal precioso (típicamente platino/rodio-platino) y los de metal común (como el cromo-níquel/aluminio-níquel o hierro/níquel-cobre).

**Tabla 23**

*Tipos de termopares.*

Designación Internacional	Aleación	Rango de temperatura [°C]	Notas
R	$\frac{\text{Pt} - 13\% \text{ Rh (+)}}{\text{Pt (-)}}$	0 a +1600	Recomendado en atmósferas oxidantes. Similar al tipo S pero su f.e.m. de salida es ligeramente mayor y posee mayor estabilidad. Termopar de metal precioso (platino).
S	$\frac{\text{Pt} - 10\% \text{ Rh (+)}}{\text{Pt (-)}}$	0 a +1500	Apto para entornos oxidantes o inertes de forma continua. Termopar de metal precioso (platino).
B	$\frac{\text{Pt} - 30\% \text{ Rh (+)}}{\text{Pt} - 6\% \text{ Rh (-)}}$	+100 a +1600	Comportamiento parecido al tipo S y R. Su f.e.m. generada insignificante en el rango de 0°C a 50°C no suele requerir una compensación de la unión fría. Termopar de metal precioso (platino).
K	$\frac{\text{Ni} - \text{Cr (+)}}{\text{Ni} - \text{Al (-)}}$	0 a +1100	Satisface en atmósferas oxidantes. Más utilizado debido a su rango y su precio. No es tan estable como los otros sensores de metal común especialmente en el rango de 300°C a 500°C. Se usa típicamente en fundición y hornos de tratamientos térmicos.

T	$\frac{\text{Cu (+)}}{\text{Cu - Ni (-)}}$	-185 a +300	El más estable en rangos de temperatura criogénica. Típico para la medida en laboratorios, por encima de 400°C la oxidación del conductor de cobre aumenta rápidamente.
J	$\frac{\text{Fe (+)}}{\text{Cu - Ni (-)}}$	+20 a +700	Recomendado en atmósferas reductoras. Su degradación es rápida en ambientes oxidantes. Se usan principalmente en la industria del plástico, goma y fundición de metales a bajas temperaturas.
E	$\frac{\text{Ni - Cr (+)}}{\text{Cu - Ni (-)}}$	0 a +800	Gran amplitud de señal de salida. Conveniente para medidas de precisión.
N	$\frac{\text{Ni - Cr - Si (+)}}{\text{Ni - Si (-)}}$	0 a +1250	Para uso general, mejor resistencia a la oxidación y al sulfuro que el tipo K.

*Nota. Adaptado de (Termopar Información Técnica - TC S.A., s/f)*



Se ha analizado la información de la Tabla 23 y de acuerdo a esto se ha seleccionado el termopar tipo K ya que el rango de temperatura en que puede trabajar es de 0 a +1100°C, abarcando el rango de temperatura usado en el proceso de planchado que se realiza, el cual es de 80 a 90°C dependiendo del tejido; además, es fácilmente accesible y su precio es bajo en comparación con los demás tipos de termocupla.

Concluyendo, se realizarán pruebas con termocuplas tipo K en la presentación de bulbo y los sensores de temperatura DS18B20 en presentación de tipo bayoneta, se eligieron en estas formas debido a que su forma facilita la medición de la temperatura interna de la plancha, para lo cual se puede realizar fácilmente un orificio en un costado de la plancha e introduciendo los sensores. El fin de realizar estas pruebas son para conocer el comportamiento de los sensores durante la medición de la temperatura, y al mismo tiempo conocer la ubicación del

sensor de tal manera que se tenga una relación directa con la temperatura que media el operador con el termómetro de aguja. La Tabla 24, muestra la información de estos sensores.

**Tabla 24**

*Información técnica de termopar tipo K y sensor DS18B20.*

Sensor	Imagen referencial	Características
Termopar		<ul style="list-style-type: none"> <li>– Salida sensor: Analógica</li> <li>– Tipo de termopar: K</li> <li>– Material de sensor: Ni-Cr (+) / Ni-Al (-)</li> <li>– Rango de uso: 0°C a 450°C</li> <li>– Precisión +/- 1.5°C</li> <li>– Presentación: Tipo bulbo de acero inoxidable (3/16" x 10cm)</li> <li>– Conexión: 5/16"</li> <li>– Cable extensión: 2 metros (fibra de vidrio enmascarada)</li> <li>– Terminal: U aislada en vinilo</li> </ul>
DS18B20 (TO-92)		<ul style="list-style-type: none"> <li>– Salida sensor: Digital</li> <li>– Rango de uso: -55°C a 125°C</li> <li>– Precisión: ±0.5°C (de -10°C a +85°C) ± 2°C (de -55°C a +125°C)</li> <li>– Alimentación: 3.3V a 5.5V</li> <li>– Conexión: 3 cables (VDD, GND, Datos)</li> <li>– Protocolo: 1-Wire</li> <li>– Resolución: de 9 a 12 bits (configurable)</li> </ul>

- Presentación tipo: Bayoneta de acero inoxidable (6mm Ø x 30mm largo)
- Cable extensión: Cable cobre 4mm Ø, 1m largo.
- Identificador interno único de 64 bits, múltiples sensores pueden compartir el mismo pin.

*Nota. Tomado de Hojas Técnicas.*

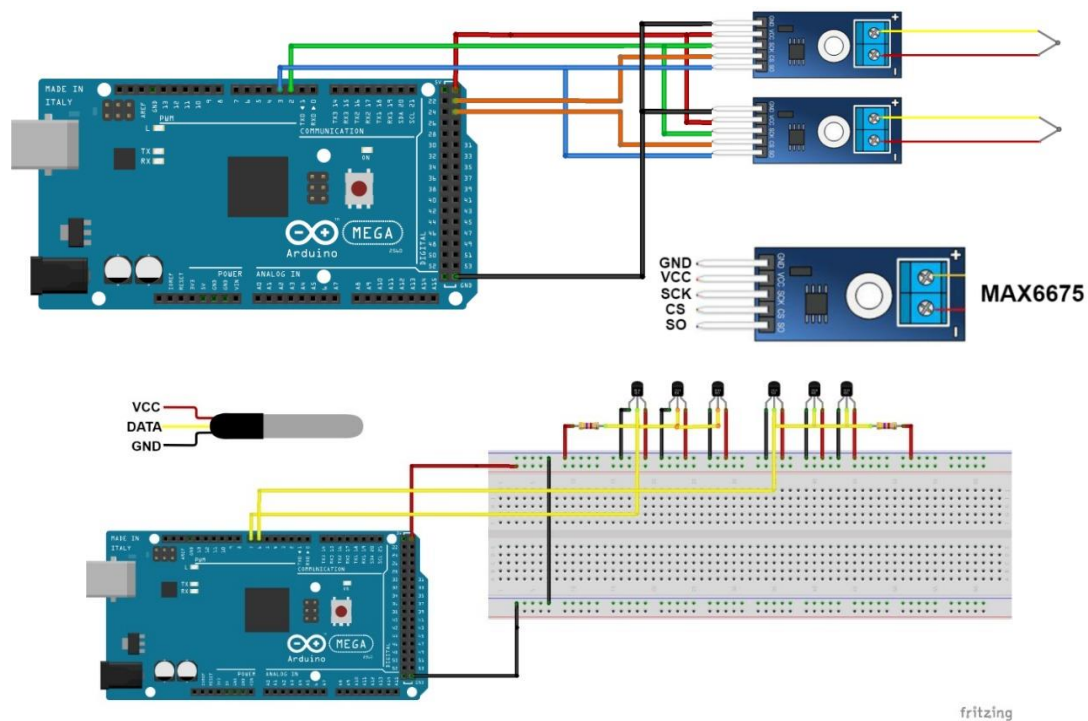
**Pruebas de Comportamiento de los Sensores.** Para la ejecución de las pruebas se hizo uso de una tarjeta Arduino UNO, la cual es capaz de trabajar tanto con los sensores DS18B20 como con las termocuplas con ayuda de los módulos acondicionadores MAX6675, mediante sus entradas digitales. Los materiales utilizados son los siguientes:

- Arduino UNO
- 2 módulo acondicionador de termocupla MAX6675
- 2 termopar tipo K
- 6 resistencia de 4.4k $\Omega$  (resistencia pull-up)
- 6 sensores DS18B20
- Cable USB A/B Arduino

Para la realizar el circuito de pruebas de los sensores con Arduino primero se efectuaron ensayos en protoboard y posteriormente se diseñó e implemento el circuito en una placa PCB para facilitar el conexionado. Para la programación del Arduino, es importante verificar que se tengan las librerías necesarias que permitan trabajar tanto con el DS18B20 como con el termopar tipo K; las librerías usadas son OneWire, DallasTemperature y MAX6675.

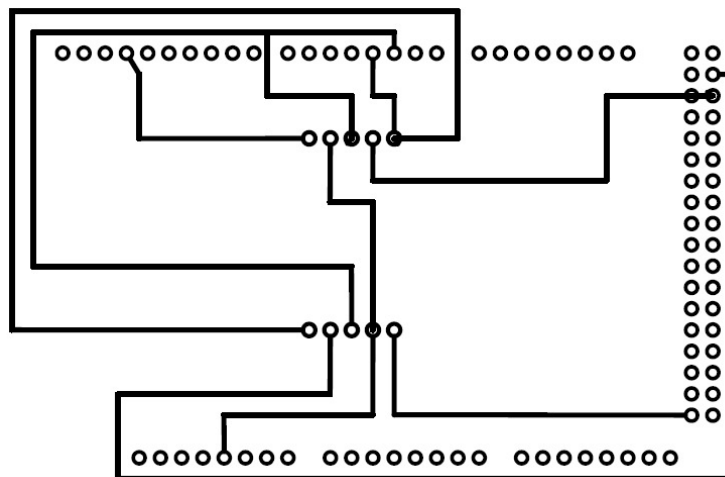
### **Figura 29**

*Esquema diseñado en Fritzing del conexionado del circuito implementado.*



**Figura 30**

*Circuito PCB de la placa de pruebas para adquisición de datos de temperatura.*



**Figura 31**

*Ejecución de pruebas de comportamiento de sensores con la placa PCB.*

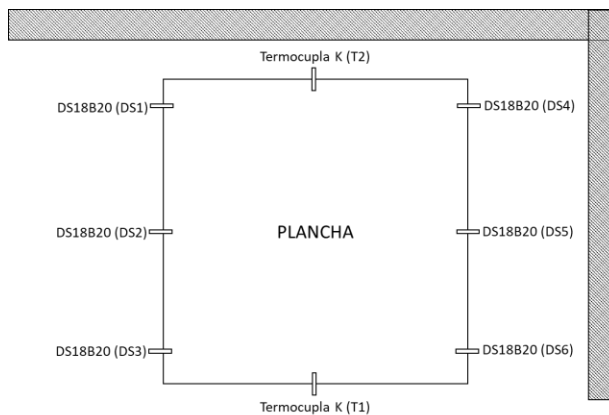




El tiempo de muestreo para las mediciones realizadas fue de cada segundo, obteniendo un total de 10501 lecturas de temperatura durante el proceso de calentamiento y enfriamiento de la plancha, esto corresponde a aproximadamente 3 horas de toma de datos; todos estos fueron recolectados por el puerto serial de la PC conectada a Arduino. En la Figura 32, se aprecia la ubicación de los sensores en una sola plancha desde una vista superior.

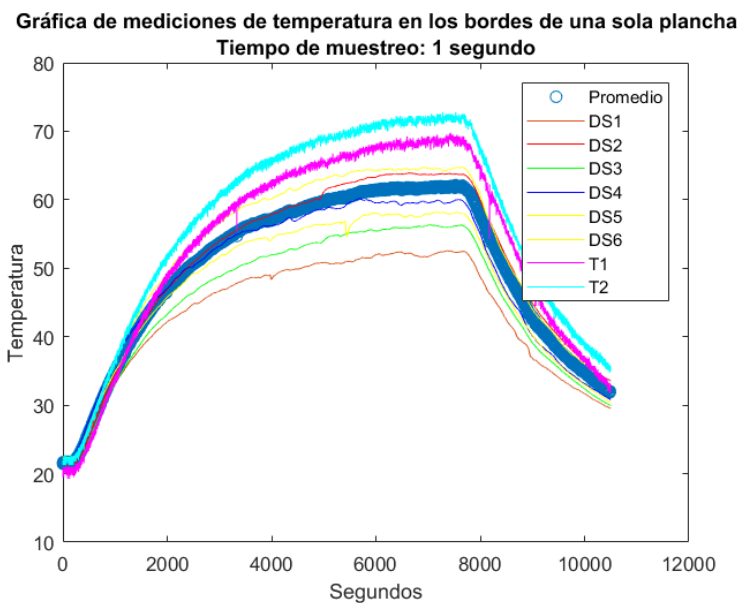
### Figura 32

*Ubicación de los sensores desde vista superior de la plancha.*



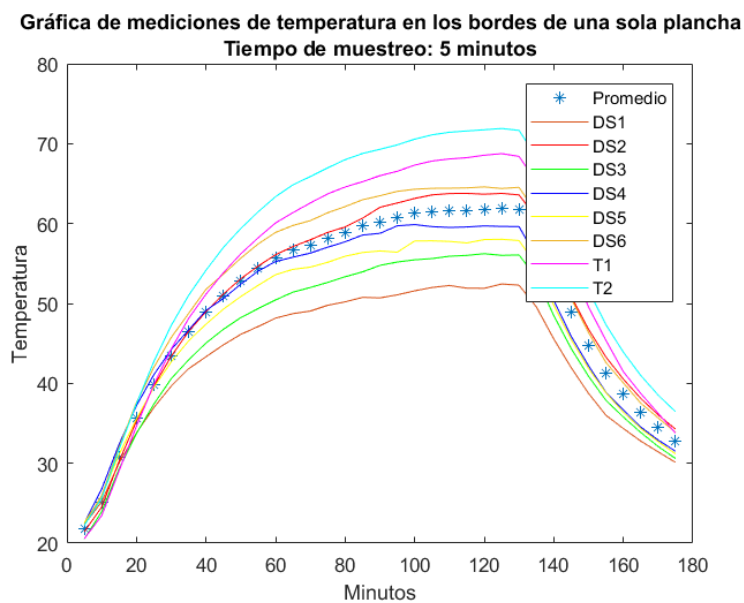
### Figura 33

*Gráfica de mediciones de temperatura de una plancha en sus bordes con tiempo de muestreo de 1 segundo.*



**Figura 34**

*Gráfica de mediciones de temperatura de una plancha en sus bordes con tiempo de muestreo de 5 minutos.*



En las figuras Figura 33 y Figura 34 se aprecian las lecturas de temperatura obtenidas con el circuito de adquisición diseñado y por los 8 sensores ubicados en los bordes de la plancha como se muestra en la Figura 32. Se tomó datos durante 3 horas aproximadamente, 2 horas calentamiento y 1 hora de enfriamiento de la plancha. Debido a que las pruebas

realizadas solo se aplican en una sola plancha aislada de las demás, Figura 31, y no existe transferencia de calor con otras planchas vecinas, las lecturas no llegan a los 85°C que es el set point con el que trabaja el operador para el planchado.

De las figuras Figura 33 y Figura 34 se puede hacer las siguientes observaciones. En la gráfica donde el tiempo de muestreo es cada segundo se aprecia que en las mediciones realizadas por las termocuplas K (T1 y T2) es evidente la presencia de ruido, presuntamente ruido eléctrico por la cercanía; para lo cual, para mejorar la visualización del comportamiento de la temperatura en la plancha se procedió a modificar el tiempo de muestreo a una lectura cada 5 minutos, este tiempo se eligió ya que se observó que la variación de la lectura de temperatura era significativa cada 5 minutos.

En la Tabla 25, se puede observar la temperatura máxima medida por cada sensor, mientras la plancha permanecía energizada; y la temperatura final alcanzada después de una hora de enfriamiento.

**Tabla 25**

*Lectura de los sensores de la temperatura máxima durante el calentamiento y temperatura final de enfriamiento.*

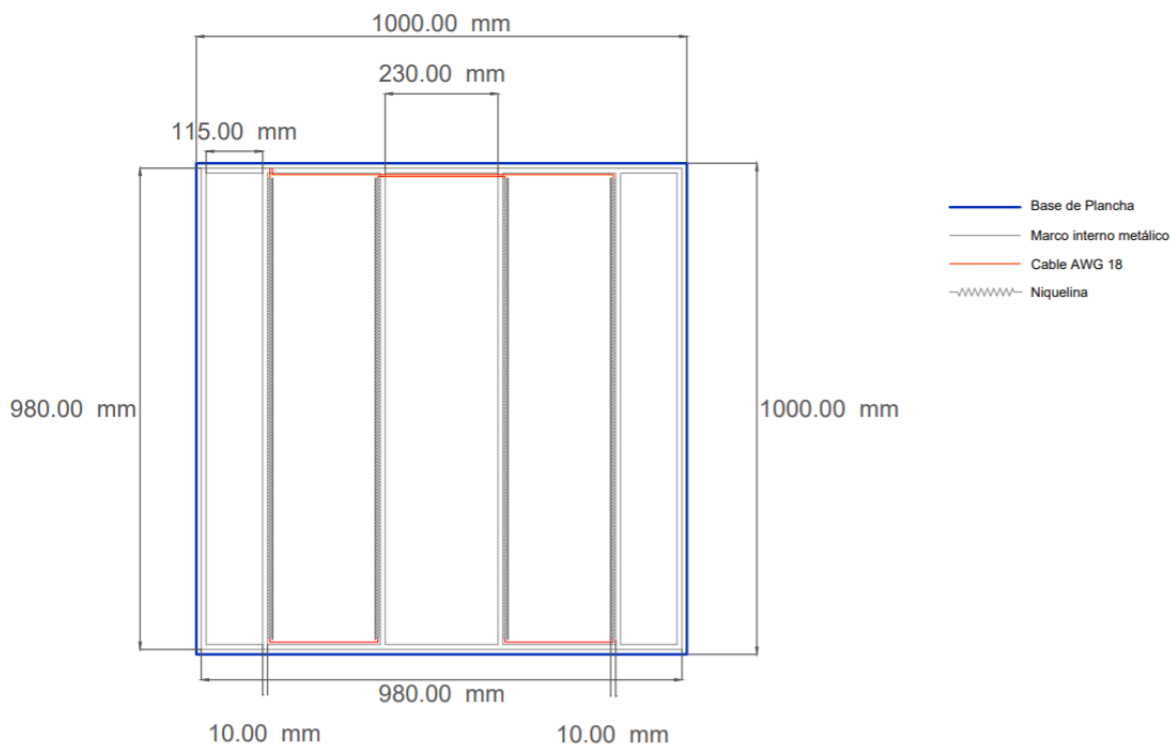
<b>Sensor</b>	<b>Temperatura máxima de calentamiento (2 horas) [°C]</b>	<b>Temperatura final alcanzada de enfriamiento (1 hora) [°C]</b>
DS1	52.29	30.11
DS2	63.59	34.27
DS3	56.07	30.59
DS4	59.63	31.5
DS5	57.87	31.17
DS6	64.53	33.87
T1	68.41	33.78
T2	71.66	36.75

*Nota.* La temperatura ambiente al inicio del proceso de calentamiento fue de 20°C.

En la Tabla 25, se puede apreciar que las termocupas tipo K son las que realizan una lectura mayor de temperatura en el mismo tiempo en comparación con los sensores DS18B20, esto puede ser debido a la estructura de los sensores pues las termocupas tipo K tienen un largo de 10cm, mientras que los sensores DS18B20 su largo es de 3cm; esto permite a las termocupas realizar mediciones más profundas de la plancha donde la temperatura es mayor. Otra observación que se tiene es que la distribución de calor en la plancha no es uniforme, debido a la estructura del sistema de calefacción donde existen cuatro canales que contienen las niquelinas aisladas con cuencas de cerámica. En la Figura 35, se puede observar un esquema de la distribución interna de las niquelinas en una plancha.

### Figura 35

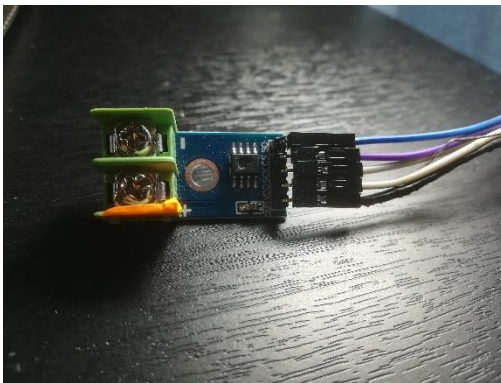
*Estructura y dimensiones de la plancha y del circuito interno de niquelinas.*



Durante las pruebas realizadas con los sensores y el circuito de adquisición empleando el Arduino UNO, ocurrió una descarga eléctrica en el circuito por lo que se procedió a revisar la conexión eléctrica interna de la plancha, encontrando cables de conexión desgastados que provocaban que la plancha se cargara eléctricamente. Así que se procedió a realizar un mantenimiento preventivo a todas las planchas y se corrigieron errores, esto ayudará a prevenir cualquier problema que se pueda presentar posteriormente.

### Figura 36

*Problema en el circuito interno de la plancha.*



(a)



(b)

*Nota. a) Módulo MAX6675 quemado, b) Cable eléctrico desgastado del circuito interno.*

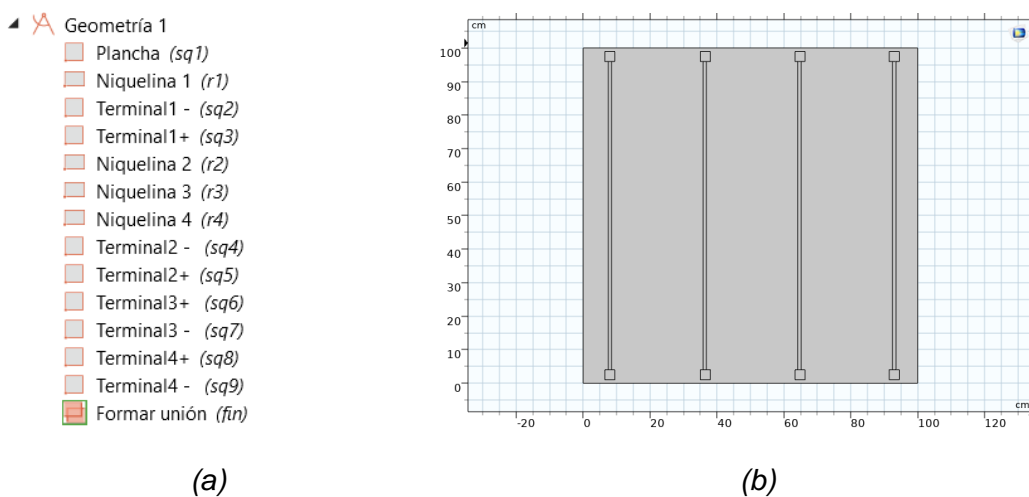
**Simulación de Distribución de Calor en COMSOL Multiphysics.** Se realizó una simulación aproximada de la transferencia y distribución de calor en la plancha realizada en COMSOL Multiphysics. Éste es un software CAE (Ingeniería Asistida por Ordenador) para

modelado, análisis y simulación de fenómenos físicos 2D y 3D en ingeniería, como problemas con fluidos, estructurales, térmicos, electromecánicos entre otros.

Para realizar la simulación se escogió un estudio temporal en 2D de la transferencia de calor en un sólido. Posteriormente se procedió a realizar la geometría de toda la estructura interna de la plancha; además de definir los materiales y propiedades de los mismos.

### Figura 37

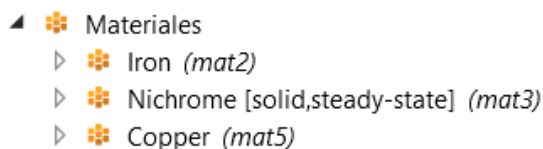
*Definición de la geometría de la plancha.*



*Nota. (a) Componentes de la geometría de la plancha. (b) Diseño de la estructura de la plancha.*

### Figura 38

*Materiales usados en la simulación.*



### Figura 39

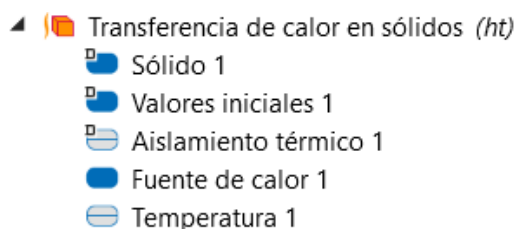
*Conductividad térmica de los materiales a utilizarse en la simulación.*

<b>Estructura</b>	<b>Material</b>	<b>Conductividad térmica [W/m*K]</b>
Plancha	Acero	76.2
Niquelinas	Nicromo	19.2
Contactos	Cobre	400

*Nota.* Los valores de conductividad térmica de los materiales fueron tomados de (Cengel & Afshin, 2011).

### Figura 40

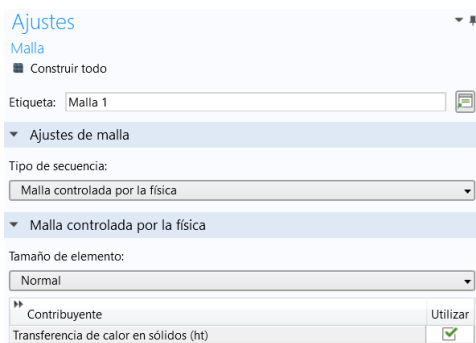
*Módulos físicos de transferencia de calor en sólidos utilizados para la simulación.*



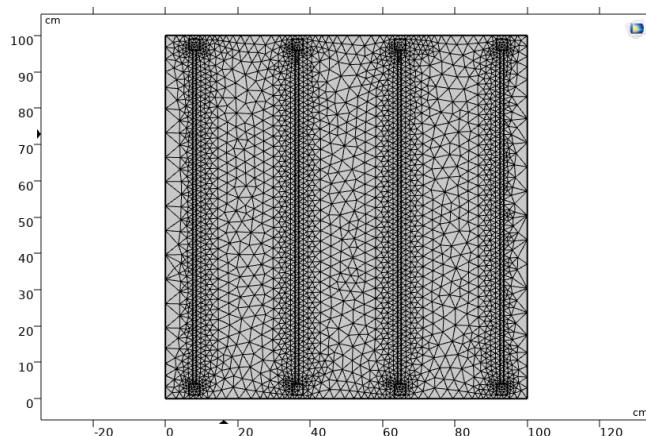
Una vez configurados todos los parámetros estructurales y físicos para la simulación, se procedió a elegir el tamaño del mallado. El software COMSOL Multiphysics utiliza modelos basados en PDE (Ecuaciones Diferenciales Parciales), la selección de un mallado correcto es sumamente importante. El tamaño de la malla determina el número de puntos de evaluación, que el programa genera automáticamente, por tanto, el tiempo de procesamiento está directamente relacionado a la malla seleccionada. Se recomienda escoger una malla controlada por la física porque acopla el tamaño de cada tetraedro según la interacción física. Para el caso de nuestra simulación de transferencia de calor se escogió una malla controlada por la física y de tamaño normal.

### Figura 41

### Mallado de la geometría.



(a)



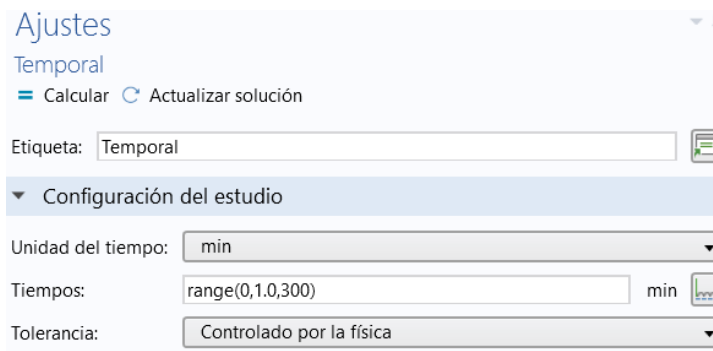
(b)

*Nota. (a) Ajustes del mallado en COMSOL Multiphysics. (b) Mallado.*

Finalmente, después de haber completado todo el diseño y configuración de la simulación se realiza el cálculo del estudio temporal de la distribución de calor. En Figura 42 se observa que se ha configurado como minutos la unidad de tiempo en un rango de 0 a 300 minutos con saltos de 1 minuto.

### Figura 42

*Ajustes del estudio temporal de la simulación en COMSOL Multiphysics.*

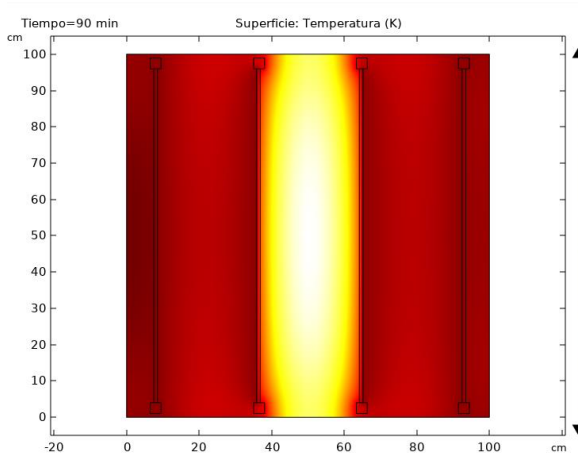
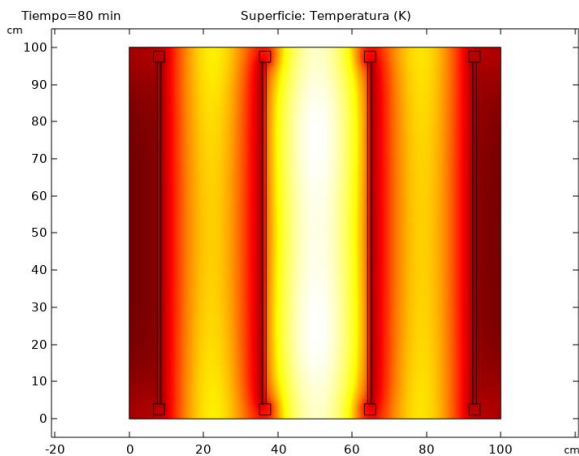
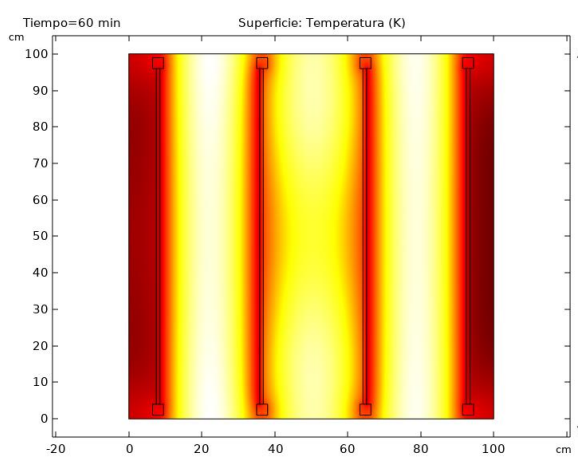
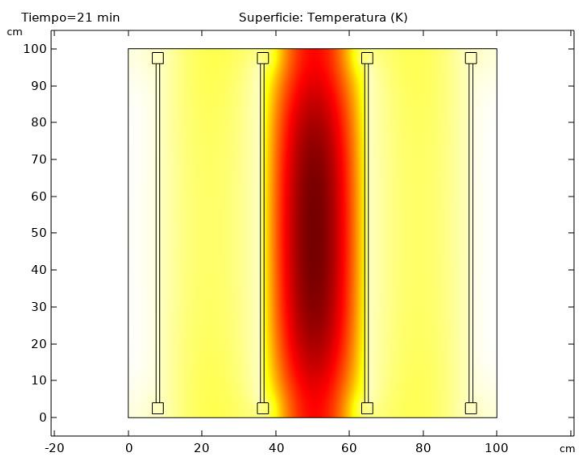
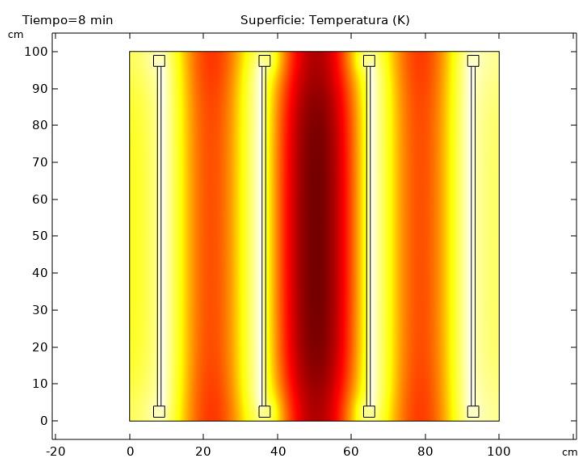
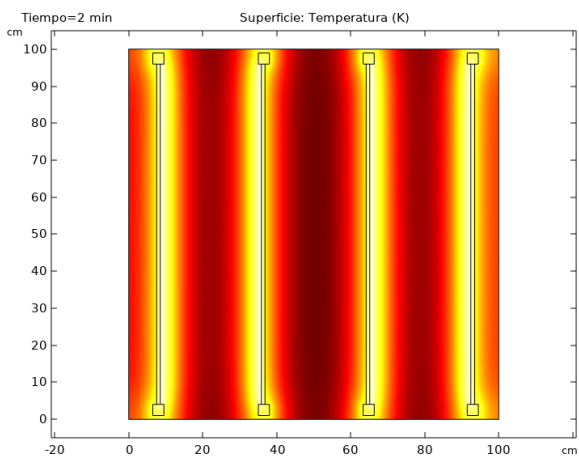


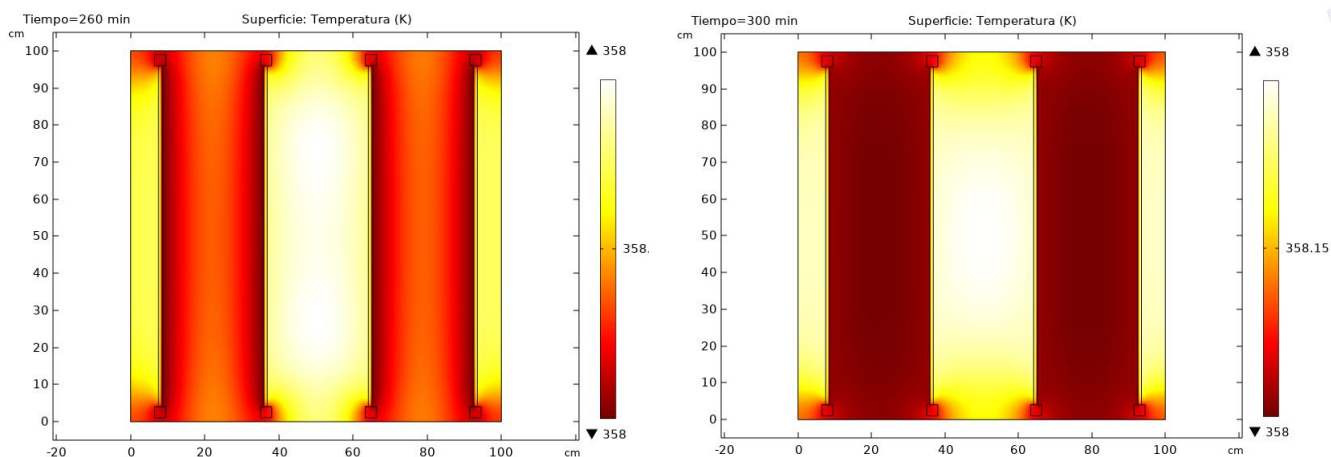
Los resultados obtenidos de la simulación de la distribución de calor en la plancha se aprecian en las figuras

### Figura 43

*Estudio temporal de la distribución de calor.*







De la simulación de la distribución de calor en la plancha realizada en COMSOL Multiphysics, se puede observar que esta se expande de forma paralela a los canales que contienen las niquelinas; además, esta distribución no es totalmente uniforme, las áreas más reducidas y cercanas a las niquelinas son las que incrementan con mayor rapidez su temperatura, sin embargo, en cierto tiempo la mayor parte de la plancha alcanza la misma temperatura.

Del análisis de las pruebas realizadas con los sensores y de la simulación de distribución de calor realizada en COMSOL Multiphysics se puede concluir que, el sensor apropiado para el proyecto es la termocupla tipo K debido a su estructura física la cual soporta ambientes industriales, al largo del bulbo que alcanza los 10cm permitiendo una medición más profunda de la temperatura de la plancha, su bajo costo, fácil adquisición, disponibilidad de módulos de adquisición, su aceptable rapidez de respuesta, precisión y linealidad. El único inconveniente puede ser su susceptibilidad al ruido eléctrico, pero con una correcta instalación, aislamiento y puesta a tierra se puede solventar ese problema.

En cuanto a la ubicación del sensor en la plancha para realizar la medición, se puede apreciar que en cualquier ubicación en los bordes de la plancha el sensor realizaría una medición correcta, debido a que en cierto tiempo la plancha alcanza una temperatura casi

uniforme; sin embargo, un limitante es que su ubicación no debe dificultar o entorpecer el trabajo del operador, así que es preferible realizar las conexiones tanto de los sensores como de la alimentación de las planchas en la parte posterior de la máquina de planchado.

### ***Diseño de Etapa de Control***

En la parte de control de la máquina de planchado, se puede evidenciar que existen dos puntos a tomar en cuenta. El primer punto es el control de la temperatura de las planchas; el control que emplea el operador es un control On-Off manual, debido a que cuando se alcanza la temperatura deseada se la desenergiza, limitando de esta manera que la temperatura continúe incrementando. Este control es suficiente para la aplicación en cuestión, ya que no se necesita mantener la variable de temperatura constante en un tiempo, simplemente se busca llegar a la temperatura deseada y desenergizarla.

Además, el comportamiento de la planta es variante y depende mucho del número de planchas a emplearse ya que el comportamiento varía si existe transferencia de temperatura con las planchas vecinas; otro factor que hace que varíe el comportamiento de la temperatura en la plancha es la cantidad de prendas que componen el bloque que se coloque entre las planchas, eso hace que aumente o disminuya la cantidad de temperatura que transfieren las planchas contiguas.

El segundo punto a tomar en cuenta es el control independiente del motor que permite el prensado de las prendas mediante el sistema de polea y tornillo sin fin, ya que este es manipulado manualmente por el operador y no puede ser operado de manera automática durante el proceso, es por esto que se tendrá una lógica de control separada para la maniobrabilidad del motor.

**Selección de Equipos para el Control de Temperatura.** El controlador a ser seleccionado deberá cumplir con requisitos que permitan un buen desempeño y fiabilidad,

además de ciertas características derivadas del tipo de sensor seleccionado con anterioridad y del tipo de control que se podría implementar.

Las características principales que deberá poseer el controlador de temperatura son fundamentalmente: permitir la lectura de los datos de temperatura tomados por termocuplas tipo K, tener 12 canales de entrada analógica para obtener las mediciones de temperatura de cada una de las 12 planchas, y además poseer 12 salidas para el control de las niquelinas. Así mismo, se encuentra el factor económico pues se busca una solución buena y de bajo costo.

En el Capítulo II de fundamentación teórica en la sección Controladores en el Mercado, se realizó el estado del arte de diferentes controladores existentes en el mercado. Esta información recopilada servirá de ayuda para la selección del controlador adecuado para la presente aplicación. El número de entradas y salidas es la principal complicación a solventarse, pues generalmente un controlador básico no posee tantas; es por esta razón que se recurrirá a la adquisición de un controlador con módulos de expansión de temperatura y no un controlador dedicado de temperatura.

Como se puede apreciar en la Tabla 12 de los módulos de expansión de temperatura existentes en el mercado, el módulo XC-E6TAC-P de la marca Xinje posee 6 canales de entrada para varios tipos de termocuplas incluyendo el tipo K, además incluye seis salidas tipo transistor que se puede controlar independientemente; es decir que, con dos módulos de esta familia se cubre las necesidades tanto de entradas como de salidas. En la Tabla 26, se puede apreciar las características generales de este módulo de expansión señaladas en su manual.

#### **Figura 44**

*Módulo de expansión XC-E6TAC-P.*



**Tabla 26**

*Características de módulo de expansión XC-E6TAC-P.*

Ítem		Especificación	
<b>Ambiente</b>		No gases cáusticos.	
<b>Temperatura ambiente</b>		0°C – 60°C	
<b>Temperatura de conservación</b>		-20 – 70 °C	
<b>Humedad ambiental</b>		5 – 95%	
<b>Humedad de conservación</b>		5 – 95%	
<b>Entradas</b>	6 canales	Entradas analógicas para termocuplas tipo: K, J, S, E, N, T, R	
<b>Salidas</b>	6 salidas	Salidas analógicas:	Forma digital: 0 – 4095

	Salida On-off:	Forma de relación marca-espacio: salida del punto Y cuando se pasa.
<b>Compatibilidad de Hardware</b>		PLC familia XC versión 3.1 o superior
<b>Rango de temperatura de medición</b>		0°C – 1000°C
<b>Resolución</b>		0.1°C
<b>Velocidad de conversión</b>		20ms por canal
<b>Instalación</b>		Fije el módulo con tornillo M3 o móntelo en riel DIN46227 (Ancho 35mm)
<b>Dimensión del contorno</b>		63mm x 102mm x 73.3mm
<b>Otras características</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Diseño aislado de fuente de alimentación DC-DC, mejora la capacidad anti-interferencia del sistema.</li> <li>- Autoestudio PID en refrigeración, calefacción, estado de transformación.</li> </ul>

*Nota. Tomado de manual técnico de la marca Xinje para el equipo XC-E6TAC-P.*

**Selección de Equipos para el Control del Motor.** Los PLC compatibles con el módulo de expansión XC-E6TAC-P son los de marca Xinje de la familia XC versión 3.1 o superior. En la Tabla 27 se señalan todos los PLC de esta familia y en la Tabla 28 se enumeran las características de los mismos.

**Tabla 27**

*Modelos de PLC de la familia XC3.*

		Modelo				Entradas (DC 24V)	Salidas (R, T)	
		Alimentación AC		Alimentación DC				
	Salidas Relé	Salidas Transistor	Salidas Mezcladas (R y T)	Salidas Relé	Salidas Transistor	Salidas Mezcladas (R y T)		
N	XC3-14R-E	XC3-14T-E	XC3-14RT-E	XC3-14R-C	XC3-14T-C	XC3-14RT-C	8 puntos	6 puntos

Type	P	XC3-24R-E	XC3-24T-E	XC3-24RT-E	XC3-24R-C	XC3-24T-C	XC3-24RT-C	14 puntos	10 puntos
	N	XC3-32R-E	XC3-32T-E	XC3-32RT-E	XC3-32R-C	XC3-32T-C	XC3-32RT-C	18 puntos	14 puntos
		XC3-48R-E	XC3-48T-E	XC3-48RT-E	XC3-48R-C	XC3-48T-C	XC3-48RT-C	28 puntos	20 puntos
		XC3-60R-E	XC3-60T-E	XC3-60RT-E	XC3-60R-C	XC3-60T-C	XC3-60RT-C	36 puntos	24 puntos
Type	P	XC3-14PR-E	XC3-14PT-E	XC3-14PRT-E	XC3-14PR-C	XC3-14PT-C	XC3-14PRT-C	8 puntos	6 puntos
	N	XC3-24PR-E	XC3-24PT-E	XC3-24PRT-E	XC3-24PR-C	XC3-24PT-C	XC3-24PRT-C	14 puntos	10 puntos
	P	XC3-32PR-E	XC3-32PT-E	XC3-32PRT-E	XC3-32PR-C	XC3-32PT-C	XC3-32PRT-C	18 puntos	14 puntos
		XC3-48PR-E	XC3-48PT-E	XC3-48PRT-E	XC3-48PR-C	XC3-48PT-C	XC3-48PRT-C	28 puntos	20 puntos
		XC3-60PR-E	XC3-60PT-E	XC3-60PRT-E	XC3-60PR-C	XC3-60PT-C	XC3-60PRT-C	36 puntos	24 puntos

*Nota. Tomado de manual técnico de la marca Xinje para el los equipos de la familia XC3.*

**Tabla 28**

*Características de PLC familia XC3.*

Ítem	Especificación		
	14 puntos	24/32 puntos	48/60 puntos
<b>Formato de ejecución del programa</b>	Formato de escaneo de bucle, formato de escaneo de tiempo		
<b>Formato de programa</b>	Tanto por declaraciones como por Ladder.		
<b>Velocidad de ejecución</b>	0.5 $\mu$ s		
<b>Retención por corte de energía</b>	Usar la memoria FlashROM y batería de litio.		
<b>Capacidad de programa de usuario</b>	2500 pasos	8000 pasos	
<b>Entradas / Salidas</b>	Entradas 8/ Salidas 6	Entradas 14/18 Salida 10/14	Entradas 28/36 Salidas 20/24
<b>Puntos de bobinas interiores</b>	8512 puntos		
<b>Puntos</b>	620 puntos		
<b>Timer (T)</b>	Temporizador 100 ms: tiempo establecido 0,1 ~ 3276,7 seg.	Temporizador 10 ms: tiempo establecido 0,01 ~ 327,67 seg.	
<b>Especificaciones</b>			

Temporizador 1 ms: tiempo establecido 0,001 ~ 32,767 seg.

	Puntos	635 puntos
<b>Contador(C)</b>		Contador 16 bits: valor establecido K0 ~ 32767
	Especificaciones	Contador 32 bits: valor establecido K0 ~ 2147483647
<b>Registro de datos (D)</b>		8512 words
<b>Registro FlashROM (FD)</b>		2048 words
<b>Función de eliminación de alta velocidad</b>		Cuenta de alta velocidad, salida de pulsos, interrupción externa.
<b>Configuración del tiempo de escaneo</b>		0 – 99ms
<b>Contraseña de protección</b>		6 bits ASCII
<b>Función de autodiagnóstico</b>		Autodiagnóstico de encendido, monitorización de tiempo, revisión gramatical del código

*Nota. Tomado de manual técnico de la marca Xinje para los equipos de la familia XC3.*

Se debe tomar en cuenta que el PLC que se conecte a los módulos de expansión de temperatura, debe permitir además realizar el manejo de las luces de señalización de los eventos en el tablero, y controlar el motor que realiza el ascenso y descenso de las planchas para el prensado, que junto con otros elementos de maniobra como son los contactores permitirá el cambio de giro del mismo.

El control de cambio de giro del motor anteriormente se efectuaba mediante el uso de un interruptor de cuchilla como se observa en la Figura 22, este se reemplazará con el uso de pedales industriales para que el operador mantenga las manos libres y pueda realizar el acomodamiento de los bloques de prendas y extraer los pernos de sujeción de las planchas mientras las planchas ascienden para el prensado presionando dicho pedal.



**Figura 45***Pedal industrial.*

Las entradas y salidas que manejará el PLC son las siguientes:

**Tabla 29***Señales de entrada al PLC.*

<b>N°</b>	<b>Entradas</b>	<b>Función</b>	<b>Tipo</b>
1	Botón paro de emergencia	Realizar la parada total del proceso.	Digital
2	Pedal para giro horario del motor	Realizar el giro horario del motor.	Digital
3	Pedal para giro antihorario del Motor	Realizar el giro antihorario del motor.	Digital

4	Contacto de guardamotor	Verificar que el guardamotor esté activado.	Digital
5	Contacto de contactor para giro horario del motor	Verificar la activación del contactor para el giro horario del motor.	Digital
6	Contacto de contactor para giro antihorario del motor	Verificar la activación del contactor para el giro antihorario del motor.	Digital

**Tabla 30***Señales de salida del PLC.*

<b>N°</b>	<b>Salidas</b>	<b>Función</b>	<b>Tipo</b>
1	Activación de contactor giro horario	Activar el giro horario del motor.	Digital
2	Activación de contactor giro antihorario	Activar el giro antihorario del motor.	Digital
3	Luz piloto de bloqueo/desbloqueo del uso del motor	Permitir o impedir el funcionamiento del motor.	Digital
4	Luz piloto de proceso de calentamiento	Indica que el proceso de calentamiento de las planchas se está ejecutando.	Digital
5	Luz piloto de falla de sensor o de plancha	Indica alguna falla existente en el sensor o en la plancha.	Digital
6	Luz piloto de paro de emergencia	Indica la existencia de un paro de emergencia.	Digital

En la Tabla 29 y Tabla 30 se aprecia que el PLC deberá manejará 6 señales de entrada y 6 señales de salida de tipo digital. Observando la Tabla 27 de los modelos de PLC de la familia XC de la marca Xinje, el modelo que posee 8 entradas y 6 salidas puede cubrir la cantidad necesitada; sin embargo, este modelo no es expandible y solo a partir de los modelos que poseen 14 entradas y 10 salidas se puede utilizar con el módulo de expansión XC-E6TAC-P.

El PLC que se adquirirá es el modelo XC3-24RT-E de la marca Xinje que posee las siguientes características específicas, además de las nombradas en la Tabla 28:

**Tabla 31**

*Características del PLC Xinje XC3-24RT-E.*

Imagen referencial	Características
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alimentación 110 a 220 VAC</li> <li>- 14 entradas digitales opto-aisladas</li> <li>- 10 salidas (2 digitales NPN de transistor y 8 de Relé).</li> </ul>



- 3 entradas de alta frecuencia para encoder incremental A/B
- Reloj en tiempo Real, memorias de retención al apagar.
- Lazos de control PID
- Comunicación con PC o Pantalla (Modbus RS232)
- Protocolo serial libre o MODBUS (RS232 / RS485)

*Nota. Tomado de manual técnico de la marca Xinje para el equipo XC3-24RT-E.*

**Preactuador.** Para el control de resistencias calefactoras los preactuadores a emplearse pueden ser relés electromecánicos o relés de estado sólido. El relé electromecánico posee una pieza móvil física activada por fuerzas electromagnéticas proveniente de la señal de entrada y permite conectar o desconectar los contactos de salida. Por su lado, los relés de estado sólido no cuentan con partes móviles, su funcionamiento se basa completamente en electrónica de semiconductores.

#### **Figura 46**

*Actuadores para el control de resistencias calefactoras.*

*a) Relé electromecánico b) Relé de estado sólido.*





a)

b)

Comparando los relés electromecánicos con los relés de estado sólido (SSR), los segundos tienen muchas ventajas pues al no tener partes móviles ni componentes mecánicos su durabilidad, así como también la velocidad de conmutación son mayores, además no genera ruido EMI, ruido acústico o arcos eléctricos. Sin embargo, un mejor rendimiento viene acompañado de un costo mayor, por lo que su precio es mayor a los relés electromecánicos.


Aunque el costo de los relés electromecánicos es inferior en comparación con los SSR, a medida que aumenta el conteo de ciclo, también se incrementa el costo a mantener, reparar o sustituirlos. Además, se debe tomar en cuenta que se trabaja con termocuplas para medir la temperatura, que son sensores vulnerables al ruido por lo que emplear el uso de SSR será lo más adecuado para esta aplicación.

La corriente máxima de consumo individual en cada plancha cómo se observa en la Tabla 19 no excede los 3,5A de salida. Existen relés de estado sólido que soportan corrientes en su salida de 10A, 25A, 40A, 50A, 75A, 80A, 100A, entre otros; así que se utilizarán SSR de 25A AC para permitir el encendido y apagado de las niquelinas; y en el que su señal de control soporta entrada de 3 a 32VDC.

En la Tabla 32 se nombran las características del relé de estado sólido que se adquirirá.

### **Tabla 32**

*Características de relé de estado sólido marca Fotek.*

Imagen referencial	Características
	<p>Marca: Fotek</p> <p>Modelo: SSR-25 DA</p> <p>SSR: Relé de estado sólido una fase</p> <p>Corriente de salida: 25A</p> <p>Voltaje de entrada: DC3-32VDC&lt;On/Off&gt;</p> <p>Voltaje de salida: Voltaje AC</p> <p>Rango de voltaje de salida: &lt; 24 – 380VAC&gt;</p>

*Nota. Tomado de manual técnico de la marca Fotek para los relés de estado sólido.*

### **Diseño de Etapa de Operación**

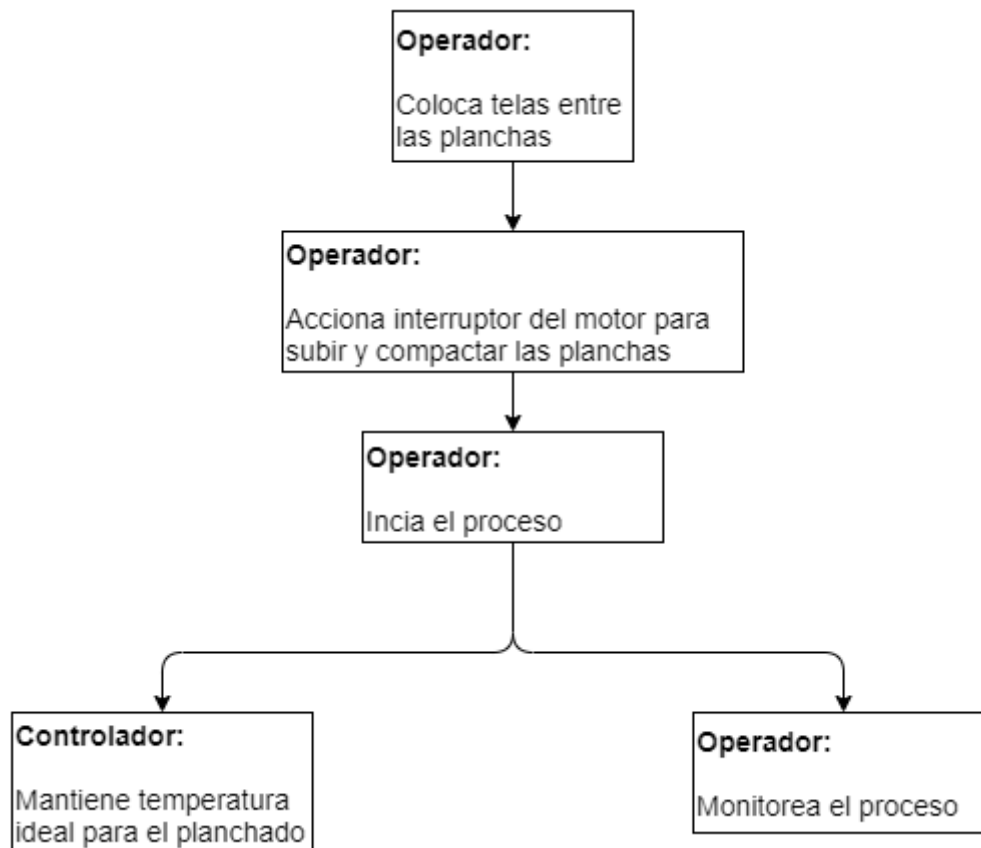
El sistema estará diseñado para una operación semi automática en la que el control de temperatura del proceso será realizado automáticamente, sin embargo, la operación del motor estará a cargo del operador.

El operador deberá tener libre sus manos para monitorear el proceso o poder presionar el botón de emergencia si existiera alguna, por lo tanto, el accionamiento del motor se debe realizar de tal forma que no impida la manipulación manual del tablero. Además, podrá verificar el estado del proceso, así como algún tipo de falla para poder ser corregido y que no cause problemas en el proceso afectando al operador, la maquinaria o la calidad del producto final. De igual manera se debe poder monitorear el accionamiento de los elementos del proceso, sus variables, actuadores, y sensores.

El control de temperatura estará a cargo de un equipo robusto que garantice fiabilidad al proceso, liberando al operador de este cargo, manteniendo una temperatura ideal para mantener la calidad en el planchado de los diferentes tipos de tela.

**Figura 47**

*Etapa de operación después de la modernización.*



*Nota.* La figura muestra el flujo del proceso en la etapa de operación después de la modernización, marcando la diferencia entre lo que realiza el operador y el controlador.

Ya que el accionar del motor emite un sonido fuerte, al igual el movimiento de sus poleas y tornillo sin fin, es recomendable el uso de una alarma auditiva en caso de emergencia.

## Capítulo IV

### Ingeniería en Detalle

#### Etapa Eléctrica

#### *Elementos de Protección y Maniobra*

En la Tabla 33, se muestra los elementos de protección y maniobra que formarán parte de la implementación para el proyecto; se detalla su función, marca, modelo y una breve descripción de sus características.

**Tabla 33**

*Elementos de protección, maniobra y control.*

<b>Equipo</b>	<b>Marca</b>	<b>Modelo</b>	<b>Función</b>	<b>Característica</b>
Breaker	CHINT	NM1-63A	Interrumpir el flujo de corriente en caso de sobre carga o cortocircuito de alimentación trifásica general.	N° polos: 3 Corriente: 63 A
Disyuntor diferencial	CHINT	NB7LE-32	Interrumpir el paso de energía al registrar diferencia entre la corriente entrante y la saliente del circuito.	N° polos: 3 + neutro Corriente: 63 A
Breaker	CHINT	NB1-3-2D	Interrumpir el flujo de corriente en caso de sobre carga o cortocircuito en la alimentación del motor.	N° polos: 3 Corriente: 2A



Breaker	CHINT	NB1-2-4C	Interrumpir el flujo de corriente en caso de sobre carga o cortocircuito en la alimentación de fuente 24VDC, salida relay del PLC y alimentación de planchas.	N° polos: 2 Corriente: 4A
Guardamotor	CHINT	NS2-25X	Interrumpir el flujo de corriente en caso de sobre carga o cortocircuito en la alimentación del motor.	N° polos: 3 Corriente: 1,6A a 2,5A
Interruptor 2 posiciones	Autonics	S2PR-P1KA	Interrumpir el flujo de corriente de la alimentación VAC.	Contactos: 2 NO Corriente: 10A-110VAC y 6A-250VAC
Pulsador paro de emergencia	Autonics	S2ER-E3R3A	Enviar señal de emergencia al controlador al ser presionado.	Contactos: 1 NC + 1 NO Corriente: 10A-110VAC y 6A-250VAC
Contactador	CHINT	NC1-3-12-11-230	Accionar el motor.	Contactos: 1 NO + 1 NC Corriente: 12 A Alimentación de bobina: 220VAC

Contacto Auxiliar de guardamotor	CHINT	NS2-AE11	Enviar señal del estado del motor al controlador	Contactos: 1 NO + 1 NC Corriente: 2,5 A
Relé de estado sólido	FOTEK	SSR-10 DA	Conmutar alimentación hacia las planchas	Contactos: 1 NO Entrada: 3-32 VDC Salida: 24 a 380 VAC Corriente: 10 A
Distribuidor de tensión	Leipole	UK 411	Organizar distribución de alimentación a los diferentes elementos	Nº polos: 3 + neutro Corriente: 100 A Voltaje: 500 VAC
Luz piloto	CHINT	ND16-22D/4	Indicar estados del proceso	Diámetro: 22m Colores: Verde, amarillo y rojo Alimentación: 110/220 VAC
Pulsador de pedal	XURUI	XF-3	Controlar giro de motor	Contactos: 1 NO + 1 NC Alimentación: 110VAC Corriente: 10A

### ***Dimensionamiento de Conductores***

La NEC establece que para dimensionar el calibre de los conductores se debe considerar el 125 % del valor de la corriente que fluye a través del conductor. Con la corriente necesaria a ser considerada se verifica en la tabla AWG del tipo de cable y se selecciona el

número de conductor a ser utilizado. En la Tabla 34, se muestra la selección de los conductores para el presente proyecto.

**Tabla 34**

*Dimensión de los conductores.*

<b>Equipos para conexión</b>	<b>Corriente del conductor</b>	<b>125% Corriente del conductor</b>	<b>Tipo de conductor</b>	<b>AWG</b>
Alimentación Trifásica	60 A	75 A	THHN	6
Alimentación del motor (Hasta borneras)	8 A	10 A	THHN	14
Alimentación Motor (De borneras a Motor)	8 A	10 A	Concéntrico de 3 hilos	14
Alimentación PLC	0,15 A	0,18 A	THHN	14 (Recomendación del fabricante >2mm <sup>2</sup> )
Alimentación Fuente DC	2,5 A	3,125 A	THHN	18
Alimentación DC para equipos	0,3 A	0,375 A	THHN	18
Conexión entre equipos de maniobra y control	0,02	0,025 A	THHN	18
Alimentación de planchas	3,26 A	4,075 A	THHN	18

### ***Puesta a Tierra***

La instalación de puesta tierra permitirá la descarga de corrientes que puedan afectar al usuario o a los equipos. Se plantea la utilización de una varilla de cobre Copperweld de diámetro de 15,9 milímetros, un recubrimiento de 254 micras, alta camada, y con una longitud de 1,80 metros, en cuanto al conductor utilizado es un cable de cobre AWG 18.

Es importante separar la etapa de control con la etapa de potencia es por esto que serán necesarias dos puestas, la primera encargada de descargar toda la parte de control, tanto controladores, módulos y fuente DC; mientras que la segunda permitiría la descarga de los equipos de potencia, es decir, el motor y asimismo de la estructura metálica de la maquinaria.

### **Lógica de Control**

Existen 3 procedimientos que realiza el controlador junto con los módulos de expansión: el primero es el proceso de calentamiento de las planchas, el segundo es el procedimiento de autosintonización para calcular los valores PID y el tercero es el control del giro del motor para realizar el prensado en el que únicamente se encuentra involucrado el PLC y elementos de maniobra.

### ***Control del Giro del Motor***

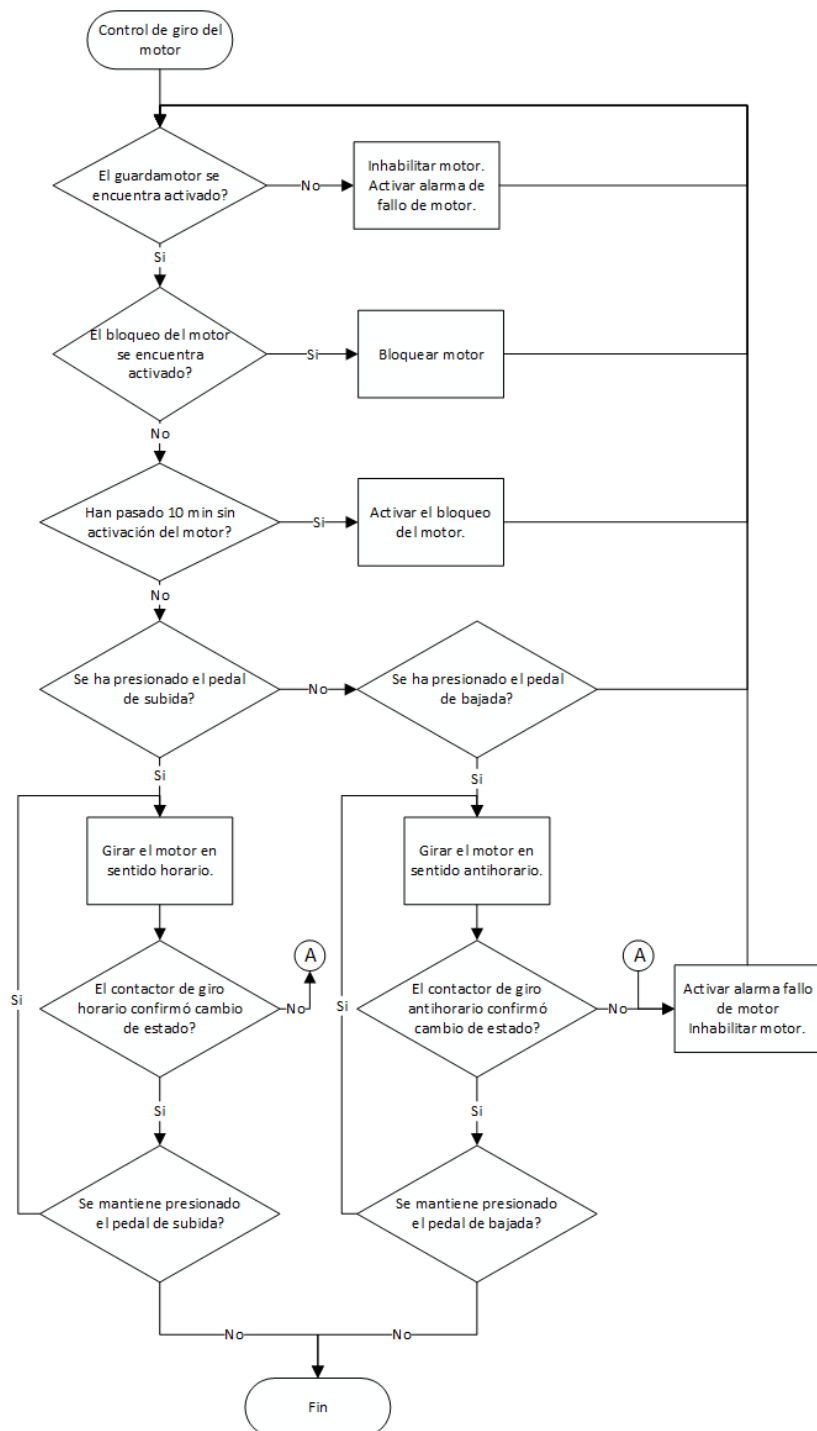
En la Figura 48, se presenta el diagrama de flujo que explica el funcionamiento del motor. Se puede observar que existe una función que permite el bloqueo del motor, esto inhabilita el motor mientras no se encuentre en uso y así evitar accionamientos involuntarios, con el fin de precautelar la seguridad del operador o de alguna persona que se encuentre en el área. Si el motor no se lo ha usado durante 10 minutos, este se bloquea automáticamente.

Para el arranque del motor se aplicó la técnica denominada arranque 2 por 1, esta consiste en que el arranque del motor se da si existe confirmación de que el guardamotor está activado mediante su contacto que entra al PLC, y a su vez el contactor confirma que sus

contactos cambiaron de estado utilizando igual uno de sus contactos a la entrada del PLC; si y solo si, se cumplen estas condiciones, el controlador permite el arranque del motor.

**Figura 48**

*Diagrama de flujo de funcionamiento del motor.*

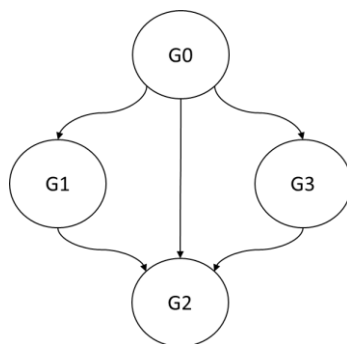


### **Control del Proceso de Calentamiento**

El proceso de calentamiento se lo representa gráficamente mediante diagramas Grafcet jerarquizados de forma estructurada, de nivel 1 descriptivo para una mejor comprensión. En la Figura 49, se presenta la jerarquía entre estos grafcet.

#### **Figura 49**

*Jerarquía de grafcet.*

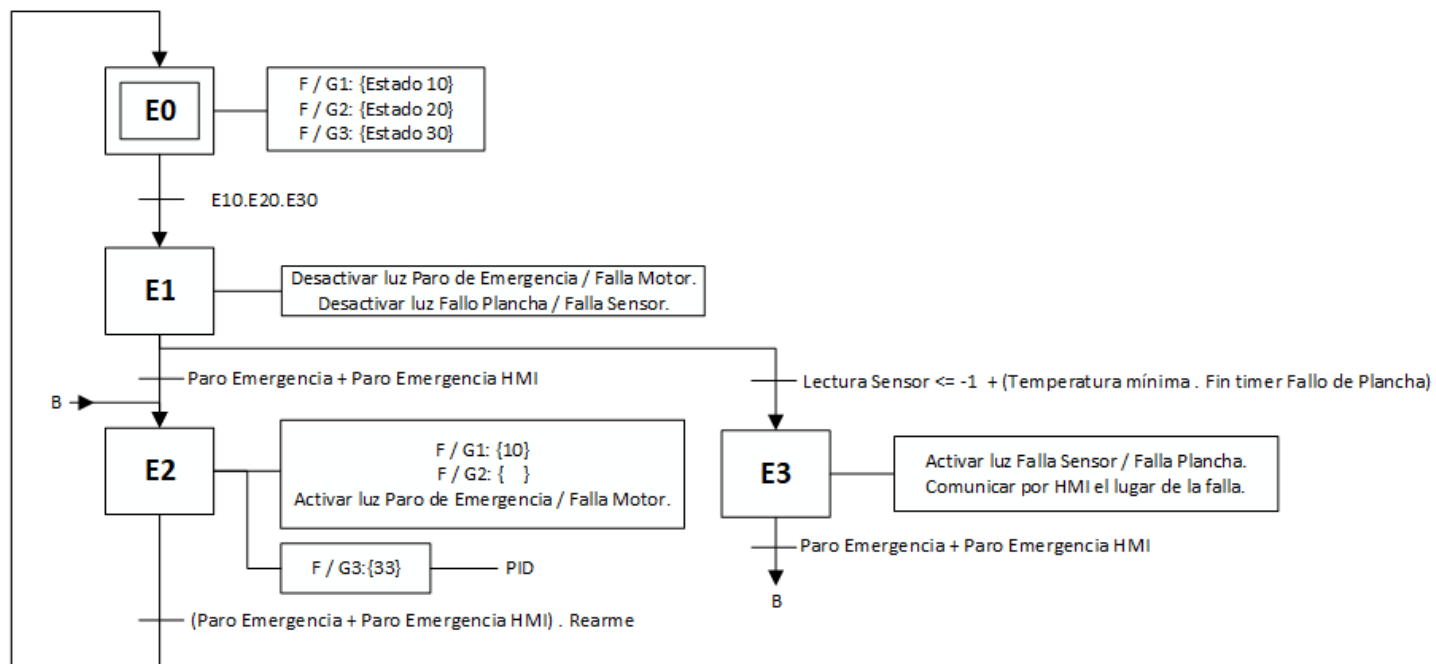


*Nota. G0: Grafcet de Seguridad, G1: Grafcet de Marchas, G2: Grafcet de Producción y G3: Grafcet de Tipo de Control (On/Off, PID).*

En las Figura 50, Figura 51, Figura 52 y Figura 53 se observan los diagramas Grafcet de nivel 1 que representan el proceso de calentamiento de las planchas, controlándose el encendido y apagado de las mismas según se convenga.

**Figura 50**

*Grafcet de Seguridad G0.*



**Figura 51**

*Grafcet de Marchas G1.*

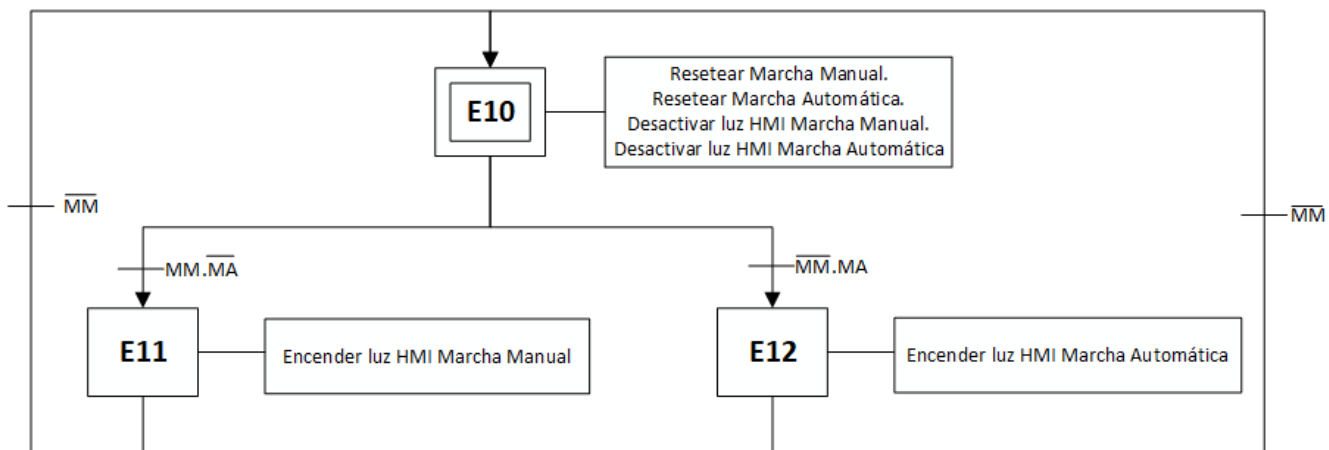


Figura 52

Graficet de Procesos G2.

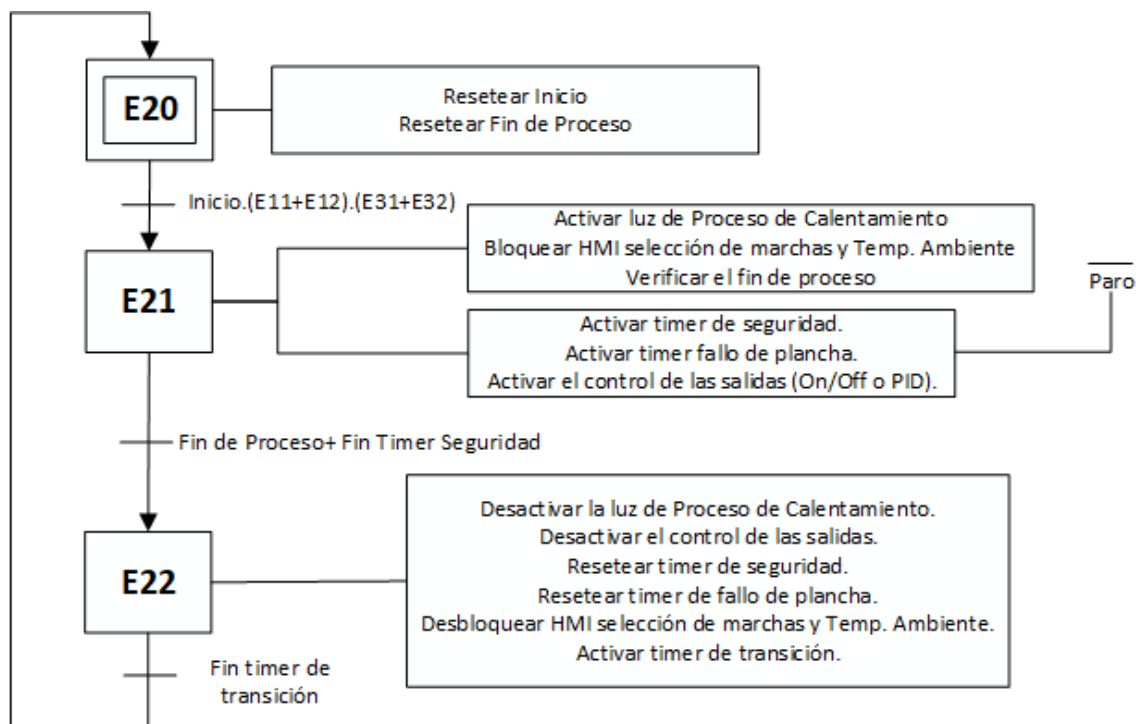
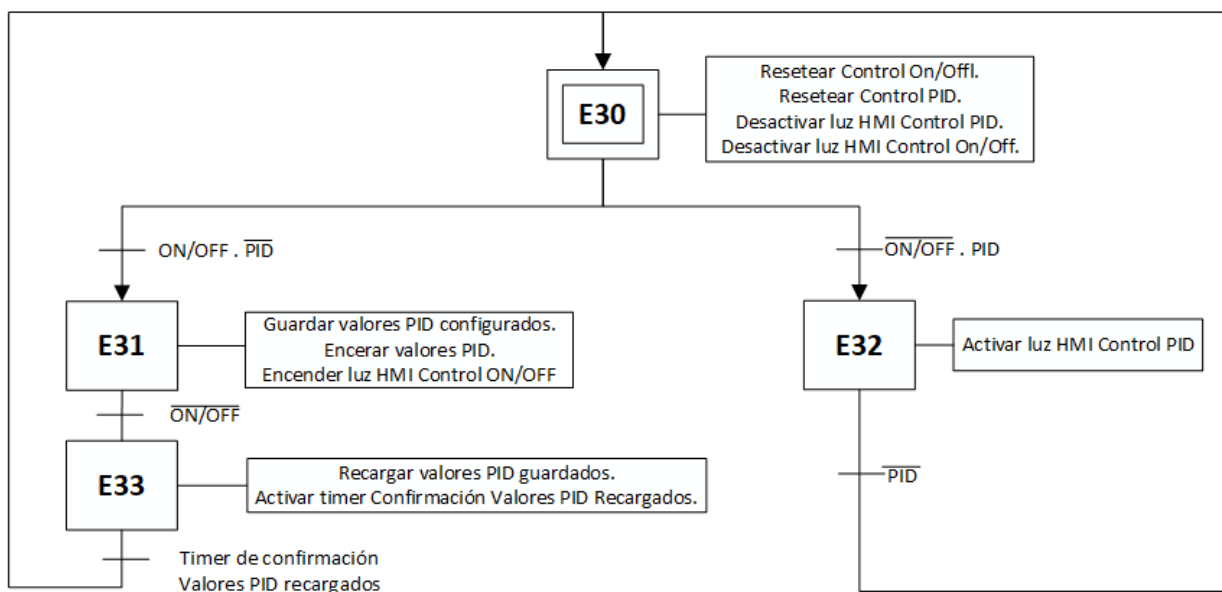


Figura 53

Graficet de Tipo de Control G3.



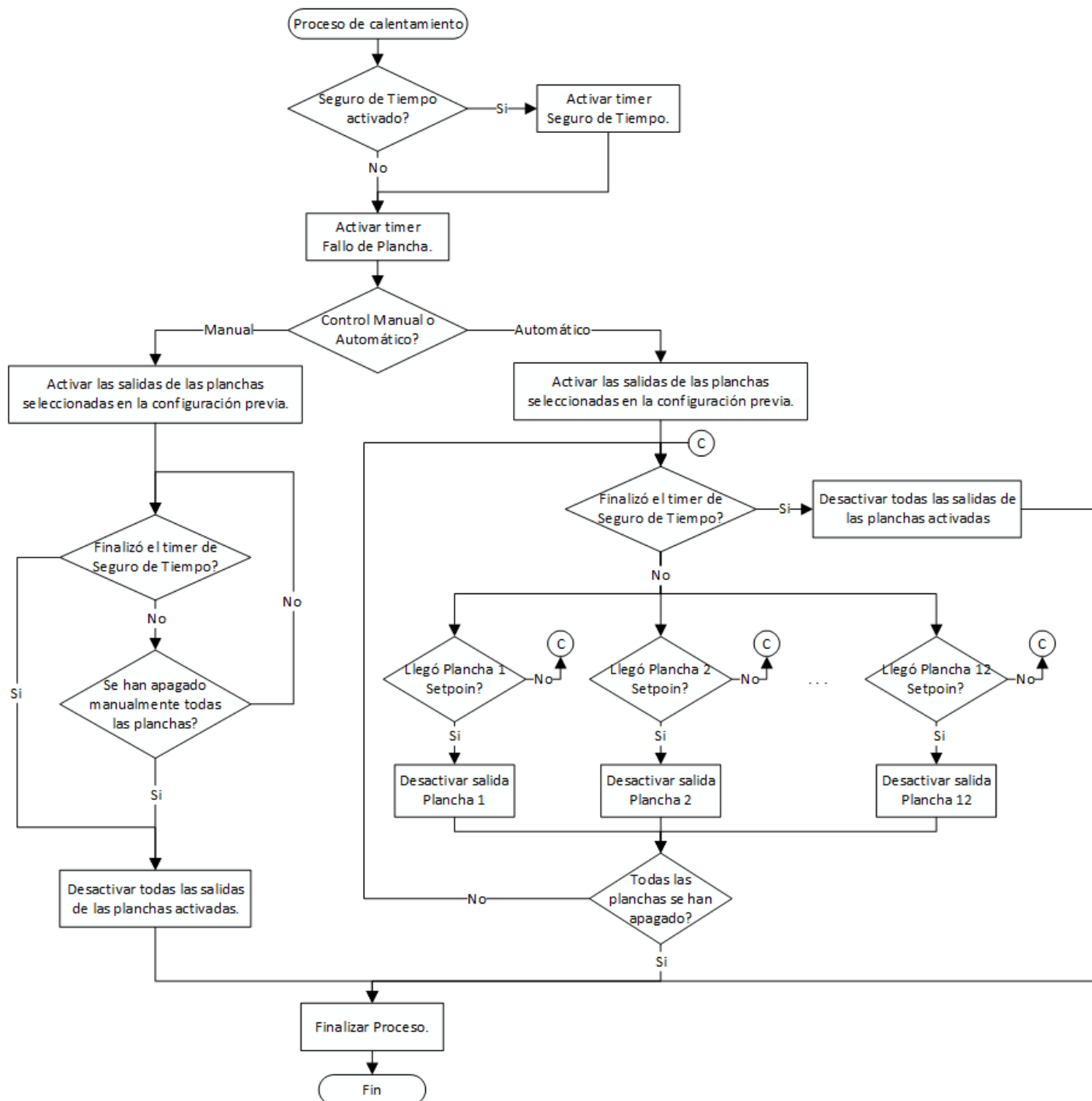


Para una mejor comprensión del proceso de calentamiento en la Figura 54, se aprecia el diagrama de flujo del proceso según la marcha elegida; y en la Figura 55 se observa el diagrama de flujo de la lectura de temperatura realizada por los módulos.

En los diagramas Grafset presentados en Figura 50, Figura 51, Figura 52 y Figura 53, así mismo como en el diagrama de flujo de la Figura 54, se puede observar la presencia de un timer de seguridad o timer de seguro de tiempo, esta es una función agregada para la seguridad del proceso, que consiste en que si desde el inicio del calentamiento de las planchas han pasado 3 horas, la máquina apaga automáticamente todas las salidas de control de las niquelinas, impidiendo que se eleve la temperatura a valores que puedan quemar las prendas. Esta función puede ser activada o desactivada por el operador, y así mismo el tiempo referente a esta puede ser modificado por el supervisor desde su pantalla correspondiente.

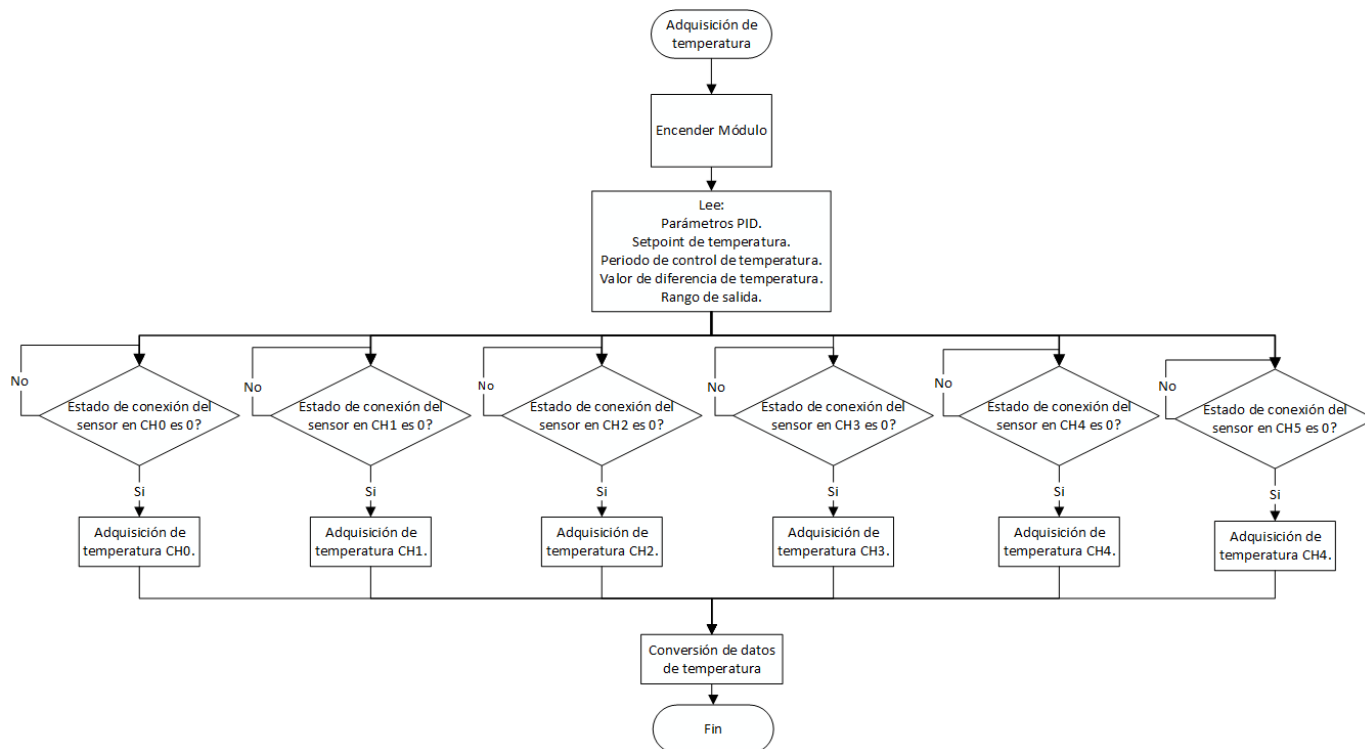
Figura 54

Diagrama de flujo del proceso según las marchas.



**Figura 55**

Diagrama de flujo de la lectura de temperatura realizada por los módulos.

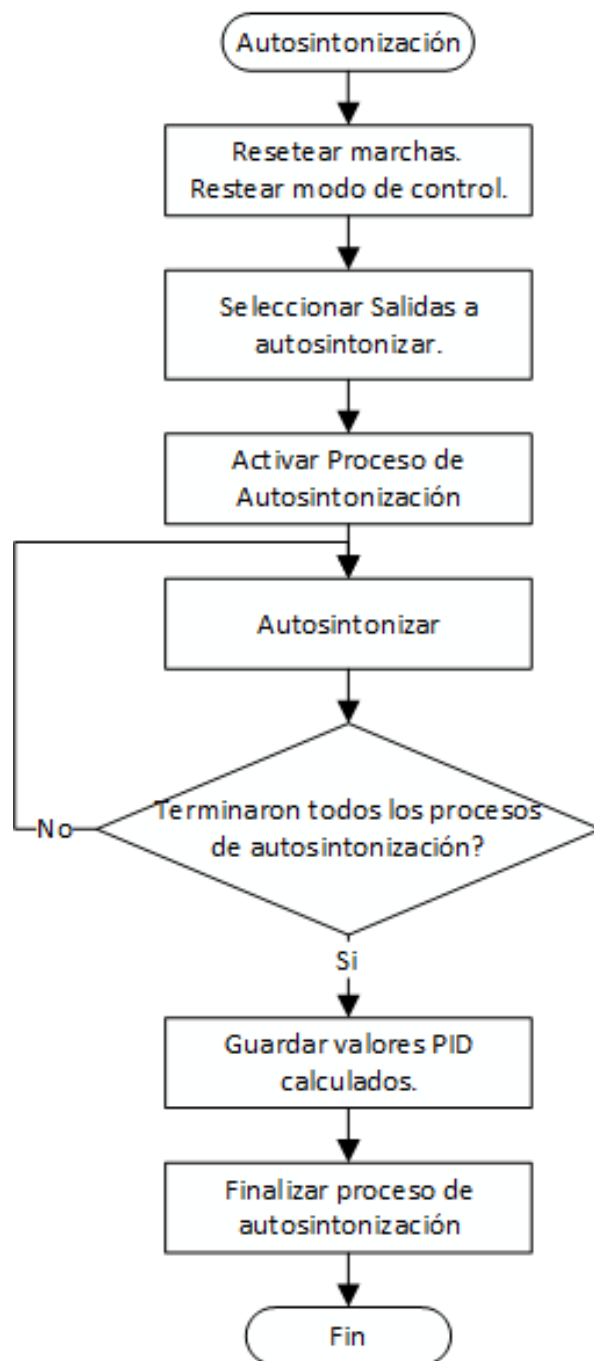


### **Autosintonización**

El diagrama de flujo de la Figura 56, explica la ejecución de la autosintonización de los valores PID para cada canal. Mientras se realiza la autosintonización del control PID el funcionamiento del proceso normal de calentamiento queda deshabilitado hasta que se termine de autosintonizar todos los canales seleccionados.

**Figura 56**

*Diagrama de flujo de la autosintonización.*



## Etapa de Operación

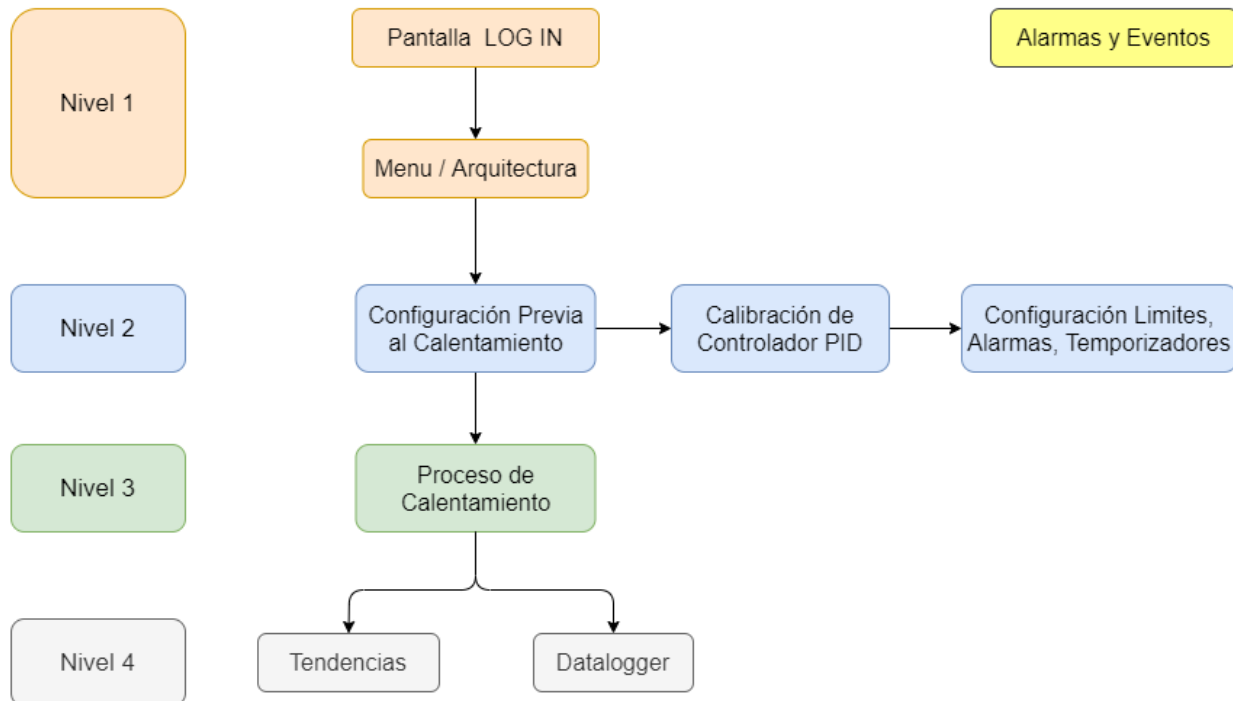
### Diseño de la HMI.

El diseño de la interfaz humano-máquina será sencillo y práctico, permitiendo al operador la visualización, monitoreo y control de la variable de temperatura que interviene en el proceso, así como de otros elementos presentes que han sido tomados en consideración por pedido del cliente. A continuación, se describirá el diseño del interfaz humano máquina.

**Arquitectura de HMI.** Para el diseño de la arquitectura de la HMI se ha tomado en cuenta el orden del proceso, para establecer una jerarquía de las pantallas dividida en 4 niveles. En la Figura 57 se puede observar la arquitectura diseñada de este interfaz humano máquina.

**Figura 57**

*Arquitectura del HMI de máquina de planchado.*



En la Tabla 35 se observa una breve descripción de las pantallas de la HMI.

**Tabla 35**

*Descripción de pantallas de HMI.*

<b>Pantalla</b>	<b>Descripción</b>
Presentación LOG IN	Pantalla de inicio del sistema en la cual se puede acceder desde dos distintos tipos de usuario, un supervisor que accede a través de usuario y contraseña y un operador que realiza acciones como un invitado.
Menú / Arquitectura	Muestra la jerarquía y orden del proceso de igual manera sirve como menú para acceder a los diferentes niveles de la HMI directamente desde esta pantalla.
Configuración Previa al Calentamiento	Se realiza una configuración previa al inicio del proceso en la cual se selecciona los siguientes parámetros: planchas que van a ser utilizadas, temperatura ambiente, set point de temperatura, tipo de marcha, tipo de control y activación de temporizador de seguridad para el proceso.
Calibración de Controlado PID	En esta pantalla se realiza la calibración del controlador PID de manera manual y a través la opción Self-Study, además cuenta con tendencias de temperatura y salida para poder observar el comportamiento del controlador. En esta pantalla además se configura set point, temperatura ambiente, rango de control, periodo de control y rango de salida.
Configuración de límites, alarmas y temporizadores	Permite la configuración de valores límites de temperatura para alarmas, y configuración de temporizadores para alarmas y temporizadores de seguridad.
Proceso de Calentamiento	Esta pantalla muestra el estado del proceso para su monitoreo, se visualiza de forma gráfica y numérica valores

	de proceso, set point, tiene el control sobre el proceso de calentamiento y operación del motor.
Tendencias	Muestra de manera gráfica el comportamiento de la variable de temperatura de cada una de las planchas
Datalogger	Registra e indica a través de una tabla lo valores de la variable de temperatura y salida del controlador
Alarmas y Eventos	Registra los eventos que se generan durante el proceso, también permite visualizar y reconocer alarmas producidas.

---

**Distribución de Pantallas.** Cada pantalla de la HMI debe contar con una distribución correcta de su espacio cumpliendo las normas establecidas para su diseño, por esta razón las plantillas diseñadas siguen la norma ISA 101 que da indicaciones para cumplir con una correcta visualización, monitoreo y manejo de las diferentes pantallas, volviendo una interfaz simple, evitando colocar información innecesaria.

La guía ergonómica de diseño de interfaz de supervisión GEDIS ofrece pautas para una correcta distribución del espacio de trabajo de las pantallas HMI, a continuación de enlista algunas de ellas.

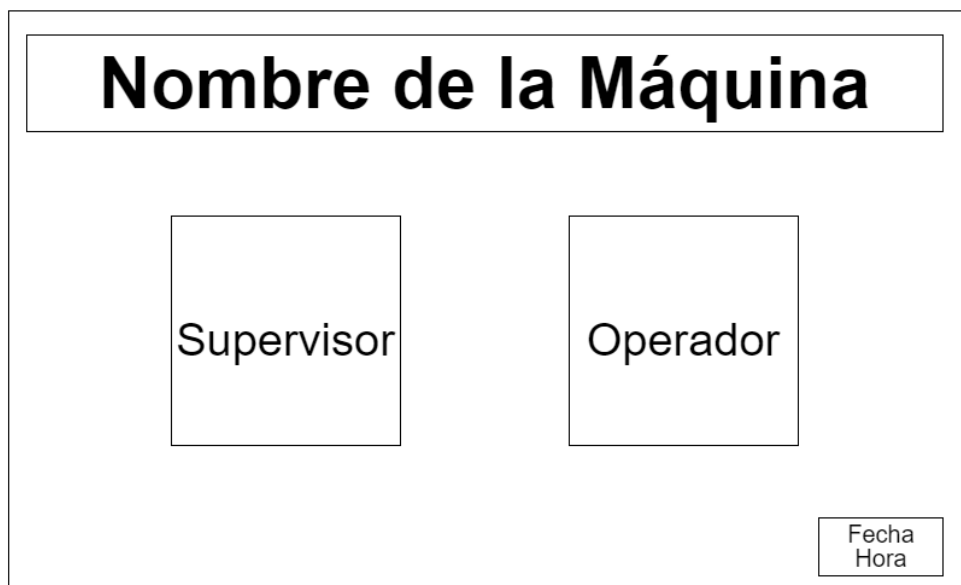
- Ubicación de título, logotipo, hora y fecha.
- Ubicación de navegación del sistema
- Ubicación de las alarmas
- Ubicación del mímico del área o subárea
- Dirección de visualización vertical de arriba hacia abajo y horizontal de izquierda a derecha.

Utilizando estas directrices se presenta a continuación las plantillas utilizadas para la HMI.

- Inicio LOG IN

**Figura 58**

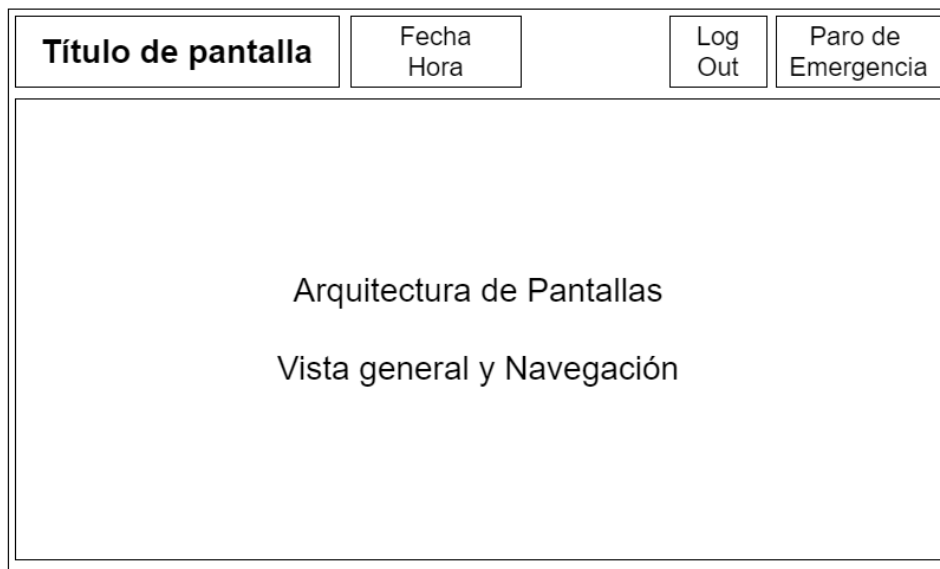
*Distribución de la pantalla de inicio de sesión.*



- Menú / Arquitectura

**Figura 59**

*Distribución de la pantalla general de Menú/Arquitectura.*

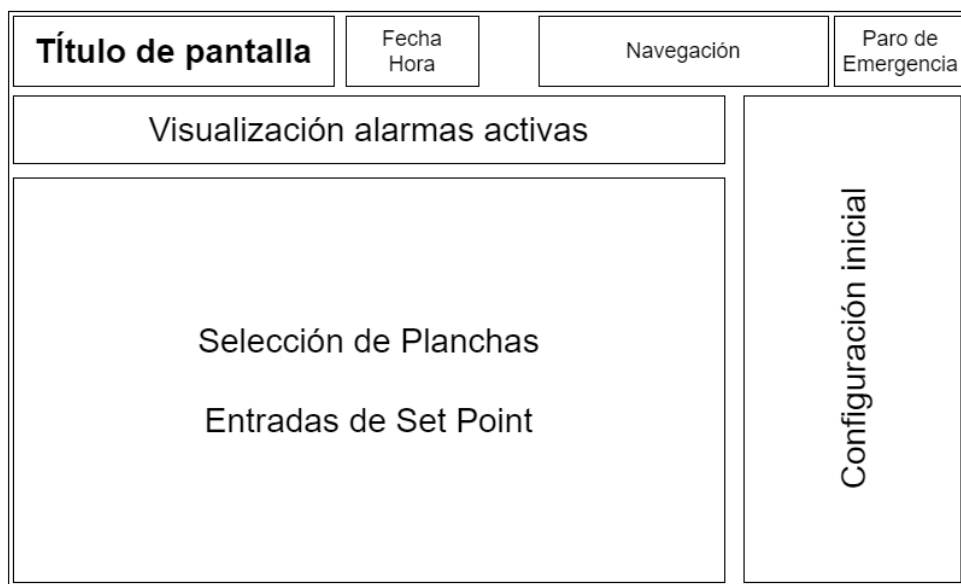




- Configuración Previa al calentamiento

**Figura 60**

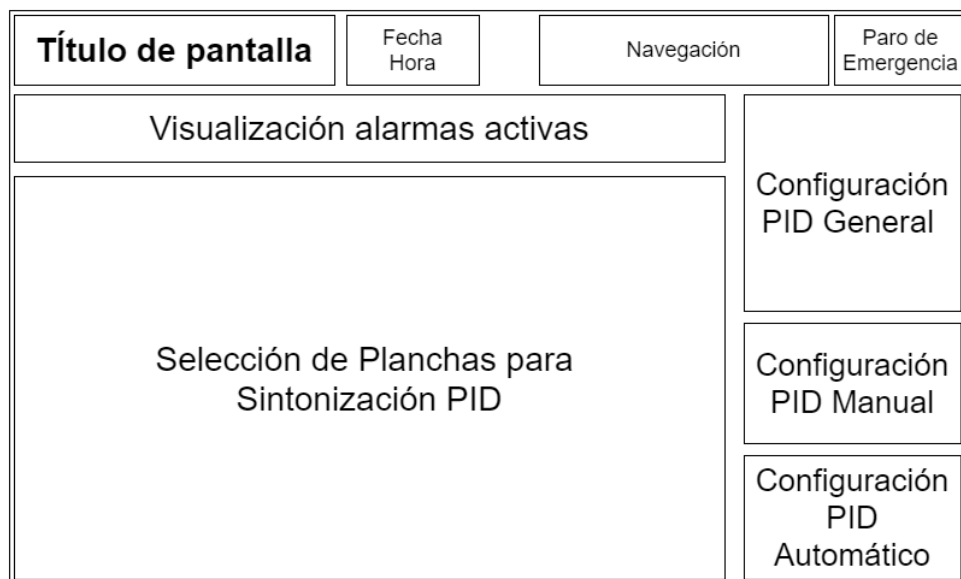
*Distribución de la pantalla de configuración previa al proceso de calentamiento.*



- Calibración PID

**Figura 61**

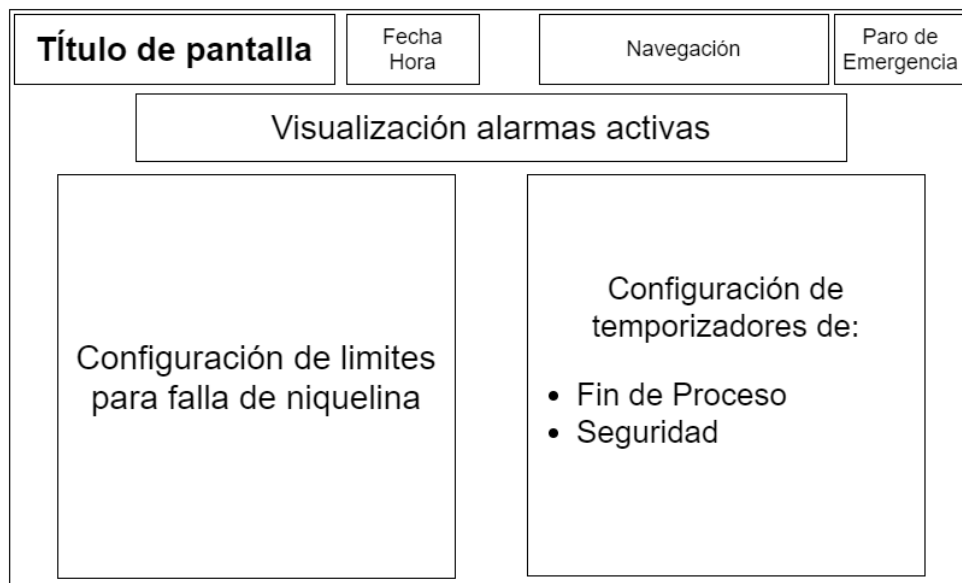
*Distribución de la pantalla de calibración PID.*



- Configuración de límites, alarmas y temporizadores

**Figura 62**

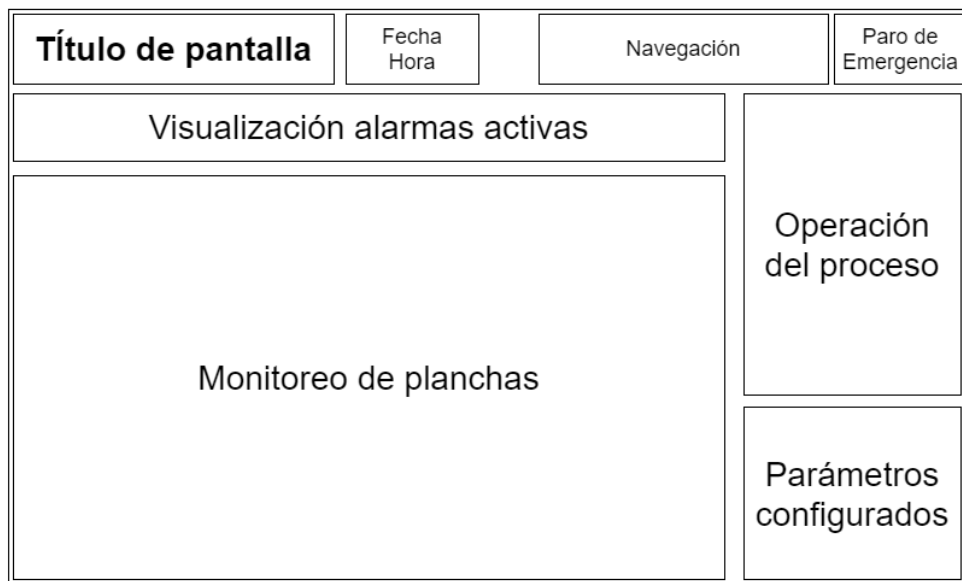
*Distribución de la pantalla de configuración de límites de temperaturas y tiempos.*



- Proceso de calentamiento

**Figura 63**

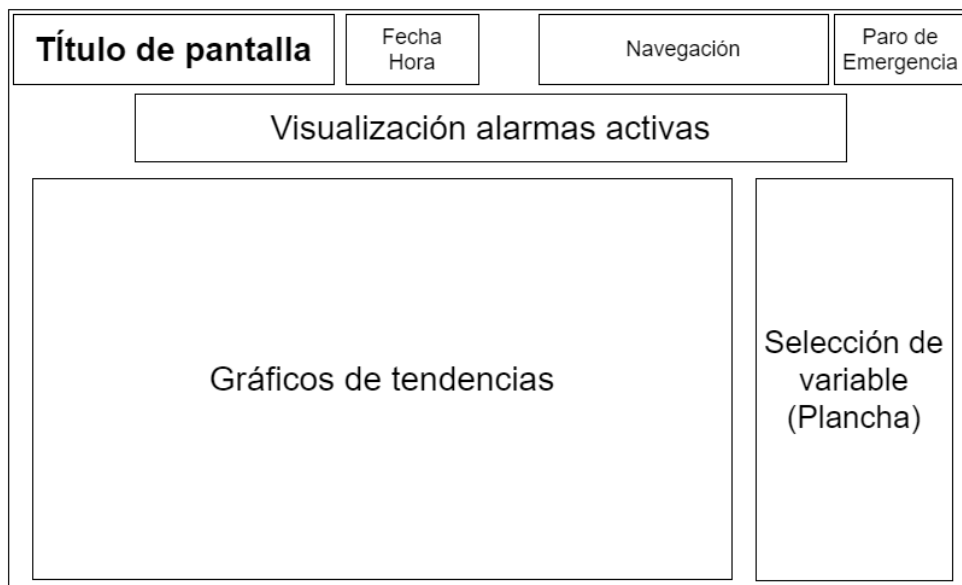
*Distribución de la pantalla del proceso para monitoreo y operación.*



- Tendencias

**Figura 64**

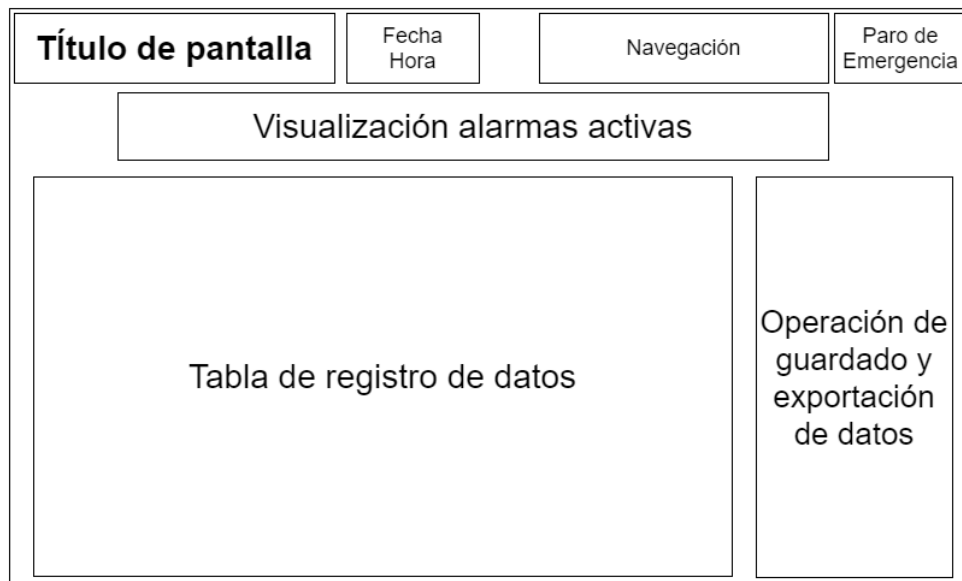
*Distribución de la pantalla de tendencias.*



- Datalogger

**Figura 65**

*Distribución de la pantalla de registro de datos de temperatura.*



- Alarmas y eventos

**Figura 66**

*Distribución de la pantalla de resumen de alarmas.*



**Gráficos y Tendencias.** Se destinó una pantalla específica para tendencias para evitar la aglomeración de información al usuario en las diferentes pantallas siguiendo las recomendaciones de gráficos en tendencias de la guía GEDIS, las cuales se indican a continuación.

Colocar una variable por gráfica, para esto se habilitar botones para poder seleccionar la variable a visualizar.

- Los rangos de la gráfica deben ser adecuados para la operación y visualización.
- Las escalas se incrementan de abajo hacia arriba.
- Uso de malla para ayudar al operador en la visualización.
- Datos visualizados gráficamente y en forma de texto.

**Navegación.** Dentro de las directrices de la guía GEDIS, se encuentra un punto importante, la navegación, la cual no debe ser una traba para el operador. Dependiendo del diseño de la HMI se debe considerar una navegación horizontal o vertical, en este caso se basó

la navegación según la arquitectura de la HMI. Seguidamente se enlista las recomendaciones tomadas en consideración para la navegación.

- El área de activación de botones y entradas de datos son lo suficientemente grande.
- Se dividió la pantalla en áreas predefinidas para diferentes funciones agrupando botones según su funcionalidad.
- El texto de las diferentes funciones es breve y claro.
- La pantalla de alarmas será paralela a todos los niveles de la HMI, por lo que se podrá ingresar directamente desde cualquiera de las pantallas del proceso.

En la Tabla 36 se observa la navegación entre los destinitos niveles de la HMI.

**Tabla 36**

*Navegación de los niveles de la HMI.*

Nivel	Navegación
Nivel 1	La navegación entre desde el nivel uno es vertical, con dirección hacia el nivel 2.
Nivel 2	El nivel 2 cuenta con dirección de navegación horizontal entra pantallas del mismo nivel y vertical hacia el nivel 3. Se tiene acceso desde el nivel 1.
Nivel 3	El nivel 3 cuenta con dirección de flujo vertical hacia el nivel 4. Se tiene acceso desde el nivel 1 y Nivel 2
Nivel 4	El nivel 4 tiene dirección de flujo horizontal entre pantallas del mismo nivel y vertical hacia el nivel 3. Se tiene acceso desde el nivel 3.

**Alarmas.** Las alarmas informan al operador que se presentado una amenaza para que dependiendo del tipo de amenaza se sigan ciertas instrucciones de emergencia ya que se ha

producido un proceso anormal que puede ser perjudicial para el usuario o producto final y se requiere de actuación por parte del operador.

### ***Diseño de Operación del Tablero de Control.***

El diseño de la operación del tablero de control está directamente relacionado con la visualización, monitoreo y operación de interruptores presentes en el tablero.

A continuación, se detalla los elementos presentes para la operación del tablero, así como una descripción de cada uno.

**Luces.** El tablero está diseñado de tal manera que tiene indicadores luminosos que permitirán al operador conocer el estado del proceso y si existe alguna anomalía. La norma IEC-60073 define los colores que deben ser utilizados en los indicadores, mientras que la norma IEC 61310-1 contiene las especificaciones para señales visuales. Ambas normas fueron tomadas en cuenta para las luces piloto del tablero. En la Tabla 37 identifica las luces utilizadas y una descripción de cada una.

**Tabla 37**

*Tipo de luces del tablero de control.*

<b>Color</b>	<b>Tipo de Señal</b>	<b>Descripción</b>
Verde	Continua	Estado ON: Proceso Iniciado
		Estado OFF: Proceso no iniciado o terminado.
Verde	Continua	Estado ON: Motor desbloqueado
		Estado OFF: Motor bloqueado
Amarillo	Continua	Estado ON: Fallo de sensor
		Estado OFF: Funcionamiento normal de sensor
Amarillo	Parpadeante	Estado ON: Fallo de niquelina
		Estado OFF: Funcionamiento normal de niquelina

Rojo	Continua	Estado ON: Paro de emergencia accionado Estado OFF: Paro de emergencia no accionado
	Parpadeante	Estado ON: Fallo de motor Estado OFF: Funcionamiento normal de motor

---

**Interruptores.** El proceso necesita dos funciones principales, la función de arranque y paro de emergencia.

La función de arranque tiene como objetivo la puesta en tensión del proceso siempre y cuando se den las condiciones iniciales necesarias para un funcionamiento seguro.

La función de paro de emergencia deberá ser prioritaria a todas las demás funciones utilizando elementos electromecánicos cableados, deberá llevar el proceso a condiciones seguras para el operador y la maquinaria.

- Interruptor dos posiciones

Este interruptor se utiliza para la función de arranque del proceso permitiendo el paso de energía a la alimentación del controlador, la fuente DC 24V y la pantalla HMI.

- Pulsador de emergencia

El pulsador de emergencia es físico siendo una entrada hacia el controlador, de esta manera al ser presionado cortar la energía hacia las niquelinas.

Existen dos pulsadores de pedal en el proceso que no están montados sobre el tablero, los cuales accionan el motor, cada uno hace girar el motor en sentido horario y antihorario, haciendo que las planchas asciendan o desciendan según convenga.

### ***Tablero Eléctrico y de Control***

Para el diseño del tablero eléctrico y de control en primer lugar se seleccionó un tamaño de gabinete estándar existente en el mercado, en este caso de 100x60x30 centímetros de la

marca Beaucoup, el cual es hermético y además cuenta con dos cerraduras para evitar manipulación del personal no autorizado.

Para el montaje de los equipos en el tablero se utilizó rieles DIN de una medida estándar de 35 milímetros, esto sirve para que los equipos montados tengan una buena adherencia al tablero para evitar caída o golpes frente a vibraciones.

Para la canalización de los conductores se utilizó canaletas ranuradas de 33x65 milímetros para la organización del cableado del tablero.

### ***Diagrama de Ubicación Física de los Elementos en el Tablero de Control***

En el Anexo 4, se puede observar el diagrama diseñado de la ubicación de los elementos de protección, maniobra y control en el tablero.

### ***Diagrama de Borneras***

En el Anexo 5, se aprecia el diagrama de borneras de las conexiones dentro del tablero de control y

### ***Diagrama de Entradas y Salidas***

El Anexo 6, presenta diagrama de entradas y salidas del controlador Xinje XC-24RT-E y los módulos Xinje XC-E6TAC-P.



## Capítulo V

### Implementación

#### **Implementación de Dispositivos y Elementos para Automatización**

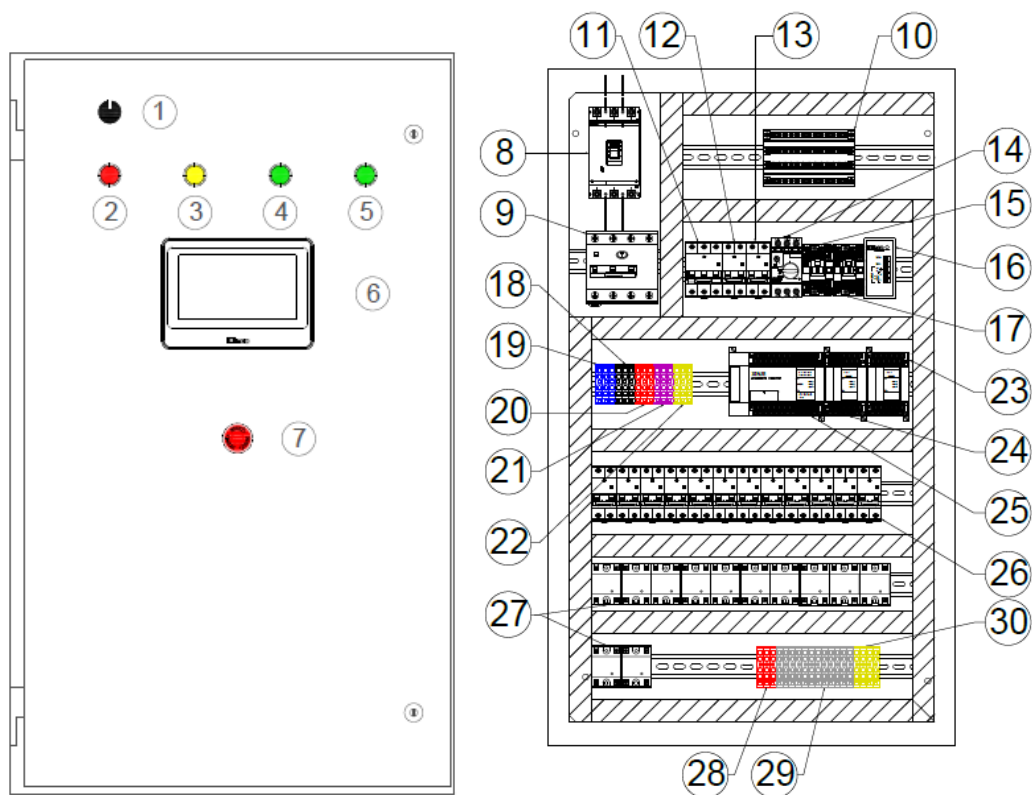
Los elementos utilizados para la automatización como sensores, dispositivos de protección, maniobra y control son los seleccionados en el Capítulo IV mientras que la conexión a tierra se basó en lo descrito en el apartado con este mismo nombre. Todo esto junto con el diseño del tablero de control, se utilizaron para la implementación de este proyecto.

#### ***Implementación del Tablero de Control***

En esta sección se muestra el diseño del tablero de control y la ubicación de los elementos tanto en la parte externa donde se localizan las luces piloto, los interruptores y la pantalla HMI, así como su parte interna donde se encuentran los elementos de protección y maniobra. En la Figura 67, se muestra el diseño realizado en el software AutoCAD Electrical.

Figura 67

Diseño de tablero eléctrico y de control en AutoCAD Electrical.



(a) Vista exterior

(b) Vista interior

En la Tabla 38, muestra un listado con la numeración y el elemento correspondiente.

Tabla 38

Listado de equipos de diseño de tablero eléctrico y de control

N°	Elemento
1	Selector de dos posiciones
2	Luz piloto – Rojo – Paro de emergencia / Fallo de motor
3	Luz piloto – Amarillo – Fallo de sensor / Fallo de plancha
4	Luz piloto – Verde – Motor Habilitado / Deshabilitado
5	Luz piloto – Verde – Proceso de calentamiento iniciado / no iniciado

- 6 Pantalla HMI Kinco Mt4434TE
  - 7 Pulsador paro de emergencia
  - 8 Breaker termomagnético caja moldeada de 3 polos
  - 9 Disyuntor diferencial 3 polos + neutro
  - 10 Distribuidor de tensión 3 polos + neutro
  - 11 Breaker termomagnético para motor 3 polos
  - 12 Breaker termomagnético para alimentación PLC y Fuente 24VDC
  - 13 Breaker termomagnético para salidas PLC
  - 14 Guardamotor
  - 15 Contactor para accionamiento de motor (Ascendente)
  - 16 Fuente 24VDC
  - 17 Contactor para accionamiento de motor (Descendente)
  - 18 Borneras doble piso de L2
  - 19 Borneras doble piso de L1
  - 20 Borneras doble piso de L3
  - 21 Borneras doble piso de N
  - 22 Borneras +24V
  - 23 Módulo de expansión de temperatura XC-E6TCA-P (Módulo 1)
  - 24 Módulo de expansión de temperatura XC-E6TCA-P (Módulo 2)
  - 25 PLC XC3-24RTE
  - 26 Breakers termomagnéticos de salidas hacia las planchas
  - 27 Relés de estado sólido para control de planchas
  - 28 Borneras doble piso de salida de motor L1, L2, L3
  - 29 Borneras doble piso de salida de planchas
  - 30 Borneras doble piso de tierra
-

El primer paso en la implementación fue el armado del tablero el cual se hizo de manera separada, con el fin de facilitar la colocación de rieles DIN y canaletas como se muestra en la Figura 68.

### **Figura 68**

*Ubicación de canaletas y rieles DIN sobre el tablero.*



Con los rieles DIN y canaletas ubicadas en su posición se procedió a montar los equipos de acuerdo con el diseño. En la Figura 69, se muestra los equipos ya montados antes de realizar la conexión entre ellos.

### **Figura 69**

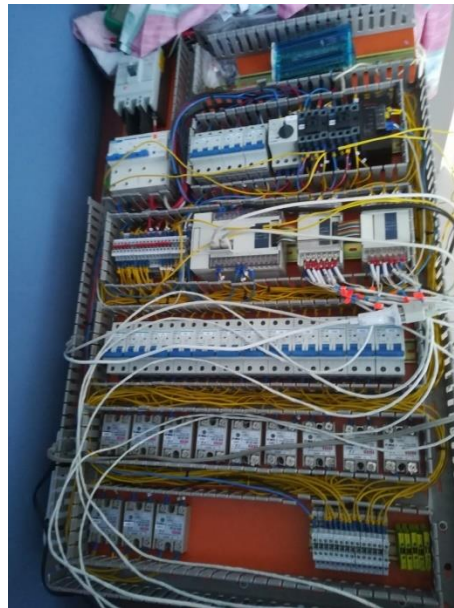
*Montaje de equipos sobre tablero.*



Una vez que todos los equipos son fijados al tablero se procedió a realizar el conexionado de los elementos de maniobra y control, tomando en cuenta los manuales de usuario, los diagramas de borneras y el diagrama esquemático diseñados, así como también el calibre de los cables calculados previamente. Además, se realizó el etiquetado correspondiente a los equipos y las borneras de conexión para mantener un orden en el conexionado y adicionalmente facilitar posteriores mantenimientos. En la Figura 70 se puede observar el proceso de conexión de los elementos.

### **Figura 70**

*Proceso de conexión de elementos sobre el tablero.*



Asimismo, se realizó las perforaciones correspondientes para la colocación de los elementos externos como son las luces piloto, pantalla HMI, interruptor de dos posiciones, pulsador de paro de emergencia y el cableado de alimentación, entradas y salidas.

**Figura 71**

*Perforaciones en el gabinete para la colocación de los elementos y conexiones externas.*



Adicionalmente, se sugirió la instalación de un gabinete de paso y la adquisición de un interruptor termomagnético general para reemplazar el que se encontraba en malas condiciones, esto no forma parte del proyecto, pero por seguridad de los equipos y de los operadores se logró realizarlo; esto se puede apreciar en la Figura 72.

**Figura 72**

*Gabinete de paso con interruptor termomagnético.*



Finalmente, con el tablero de control y el gabinete listos, se procedió a la instalación del gabinete sobre la pared cerca de la máquina de planchado y el montaje del tablero dentro del mismo, este procedimiento se aprecia en la Figura 73.

### Figura 73

*Montaje de gabinete y tablero.*



(a) Gabinete colocado en pared



(b) Tablero armado colocado sobre gabinete

Para mantener la hermeticidad de la parte interna del gabinete y ayudar a la protección y fijación del cableado de alimentación, entradas y salidas al mismo, se utilizó conectores rectos de tubería flexible, este tipo de conector se aprecia en la Figura 74.

### Figura 74

*Conector recto de manguera eléctrica flexible.*



Para finalizar el montaje físico del tablero se instaló la pantalla HMI, luces piloto, pulsador de emergencia y un interruptor de dos posiciones para el encendido, en las ranuras previamente realizadas. El cableado de estos elementos fue ubicado dentro de espirales plásticas para una mayor organización del armado del tablero de control, esto puede ser observado en la Figura 75.

### **Figura 75**

*Montaje y conexión de luces piloto, pantalla HMI y pulsador de emergencia.*



En la Figura 76, se puede apreciar el montaje físico del tablero y del gabinete completado.



**Figura 76***Tablero de control armado.*

(a) Tablero de control vista exterior



(b) Tablero de control vista interior

***Implementación de Puesta a Tierra***

Para la implementación de puesta a tierra se tomó como referencia lo explicado en el apartado Puesta a Tierra del Capítulo IV.

El procedimiento fue enterrar las dos varillas tanto la de control como la de potencia dejando una parte expuesta en el exterior para poder realizar la conexión con el cable a través de un conector tipo martillo el cual ajusta al conductor de cobre para la descarga hacia tierra. En la Figura 77 se puede observar la conexión de las dos varillas enterradas en el piso.

**Figura 77***Conexión de puesta a tierra con varilla.*



(a) Puesta a tierra de potencia



(b) Puesta a tierra de control.

Las planchas al ser de material metálico, es importante su puesta a tierra para evitar que su estructura se cargue y pueda ocasionar electrocuciones o errores en las lecturas de los sensores por ruido eléctrico. Es por esto que se procedió a conectarlas entre sí con cable de cobre AWG 18, esto eliminó casi en su totalidad el ruido eléctrico producido. En la Figura 78, se muestra la conexión a tierra de las planchas metálicas.

### Figura 78

*Puesta a tierra de las planchas metálicas.*



### ***Implementación de Alimentación y Sensores en planchas***

Para la energización de las planchas se utilizó el mismo tipo de clavija que poseía el sistema con anterioridad, esto permite la desenergización de las planchas simplemente desconectándolas, facilitando el mantenimiento de las mismas en caso de ser necesario; además, de esta forma se conserva la estructura original de las planchas sin realizar modificaciones para la conexión de alimentación. A pesar de que las clavijas no fueron reemplazadas, si se realizó la sustitución de los cables de alimentación, por cable siliconado con recubrimiento de fibra de vidrio AWG 18 el cual soporta la corriente de consumo de la plancha y al mismo tiempo posee resistencia si es que expuesto a la temperatura del proceso. En la Figura 79, se observa las clavijas de conexión para la alimentación de las planchas.

#### **Figura 79**

*Clavijas de conexión para la energización de las planchas.*



(a) Clavijas de conexión.



(b) Reemplazo de cableado de alimentación.

Para la parte de medición utilizando sensores de temperatura, las termocuplas tipo K en forma de bulbo fueron colocadas en la parte posterior de la máquina donde no afecte al proceso o interrumpa el paso o visión del operador, como se había definido con anterioridad. Para mantener fijo las termocuplas se realizó un agujero roscado de la misma medida que el

sensor de esta manera se mantendrá estático y en caso de necesitar un cambio por mantenimiento su extracción no implica mayor dificultad. En la Figura 80 se puede observar el sensor de la séptima plancha instalado y con su debida identificación.

### **Figura 80**

*Instalación de sensor 7 sobre plancha.*



## **Programación del Controlador Xinje**

### ***Descripción del Software***

El PLC utilizado para la aplicación es de marca Xinje modelo XC3-24RT-E perteneciente a la familia XC3. El software XCP-Pro es libre y permite programar los controladores de esta familia, además, de XC1, XC2, XC5, XCM y XCC. El software soporta sistemas operativos Windows XP, Windows 7, Windows 10 y Windows NT. Su interfaz es muy simple e intuitiva y permite la programación por dos métodos: en Ladder o en lista de instrucciones.

### ***Instalación de XCP-Pro***

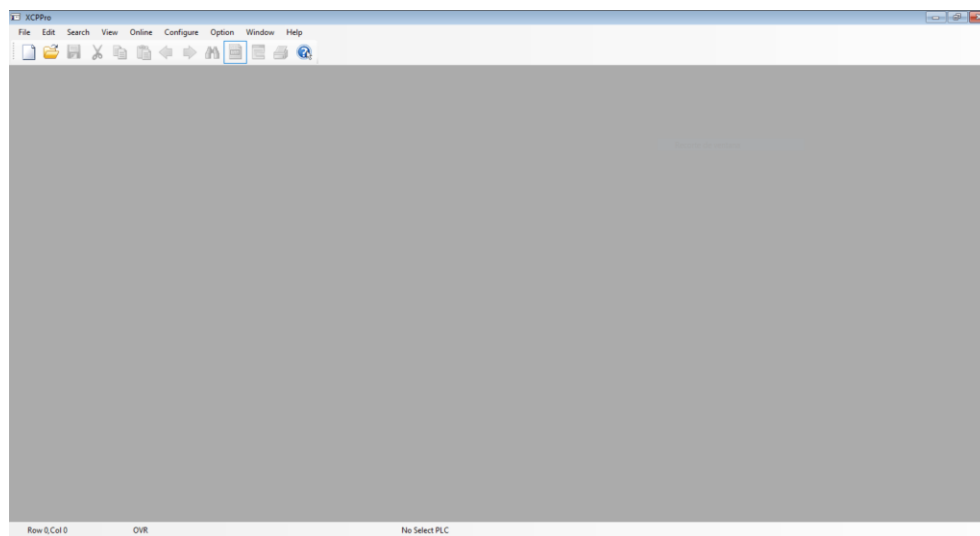
El procedimiento de instalación del software XCP-Pro para la programación del PLC se encuentra en el Anexo 7.

## Configuración del Software para la Programación del PLC Xinje

**Creación de un Nuevo Proyecto.** Una vez abierto el programa se presentará la pantalla que se muestra en la Figura 81.

### Figura 81

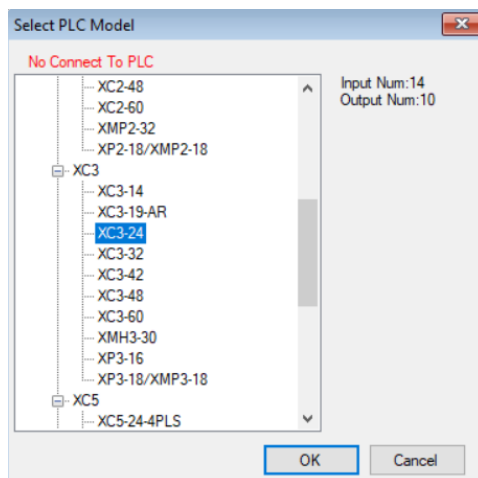
*Pantalla de inicio del programa XCP-Pro.*



Seleccionar "File" → "New Project" y aparecerá la ventana para la selección del modelo del PLC. Si el PLC se encuentra conectado, el software detectará automáticamente el modelo. Para el presente proyecto se seleccionará el modelo XC3-24 perteneciente a la familia XC3.

### Figura 82

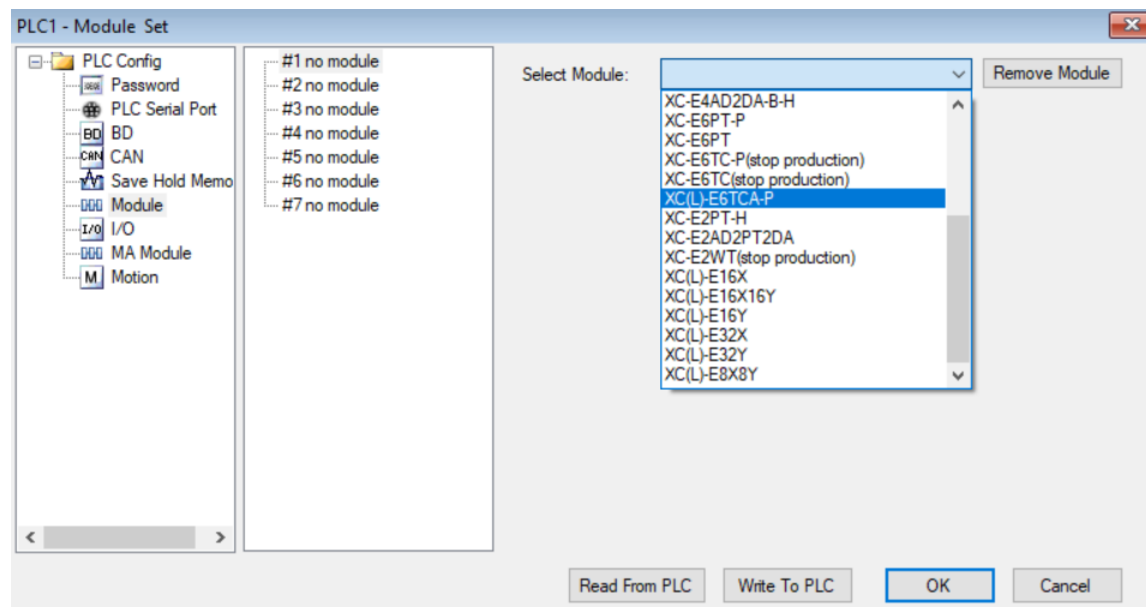
*Pantalla de selección del modelo de PLC.*





**Figura 85**

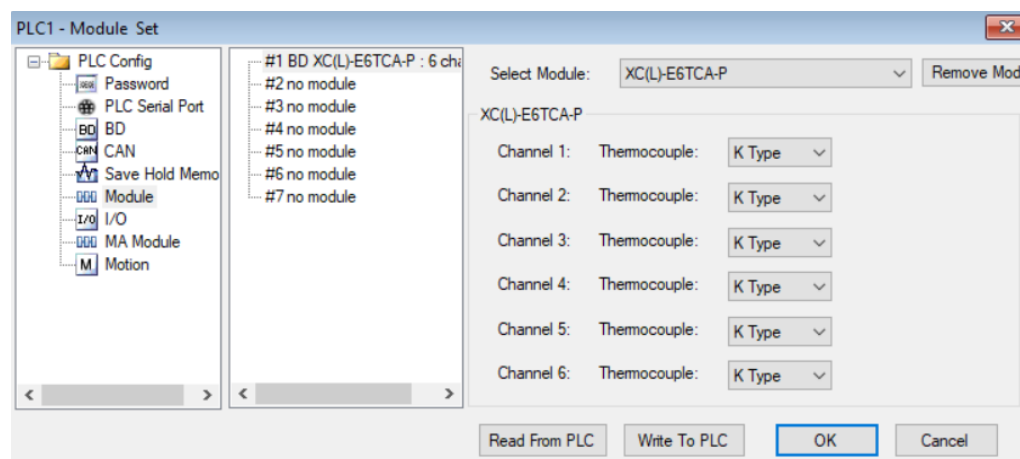
*Pantalla para selección de módulos.*



Se abrirá una pantalla donde permite seleccionar el tipo de la termocupla a conectar. En este caso se elegirá termocupla tipo K en los 6 canales, y finalmente dar click en “OK”. Con esto se habrá concluido la configuración para proceder con la programación del PLC.

**Figura 86**

*Pantalla de configuración de tipo de sensores del módulo de adquisición de temperatura.*

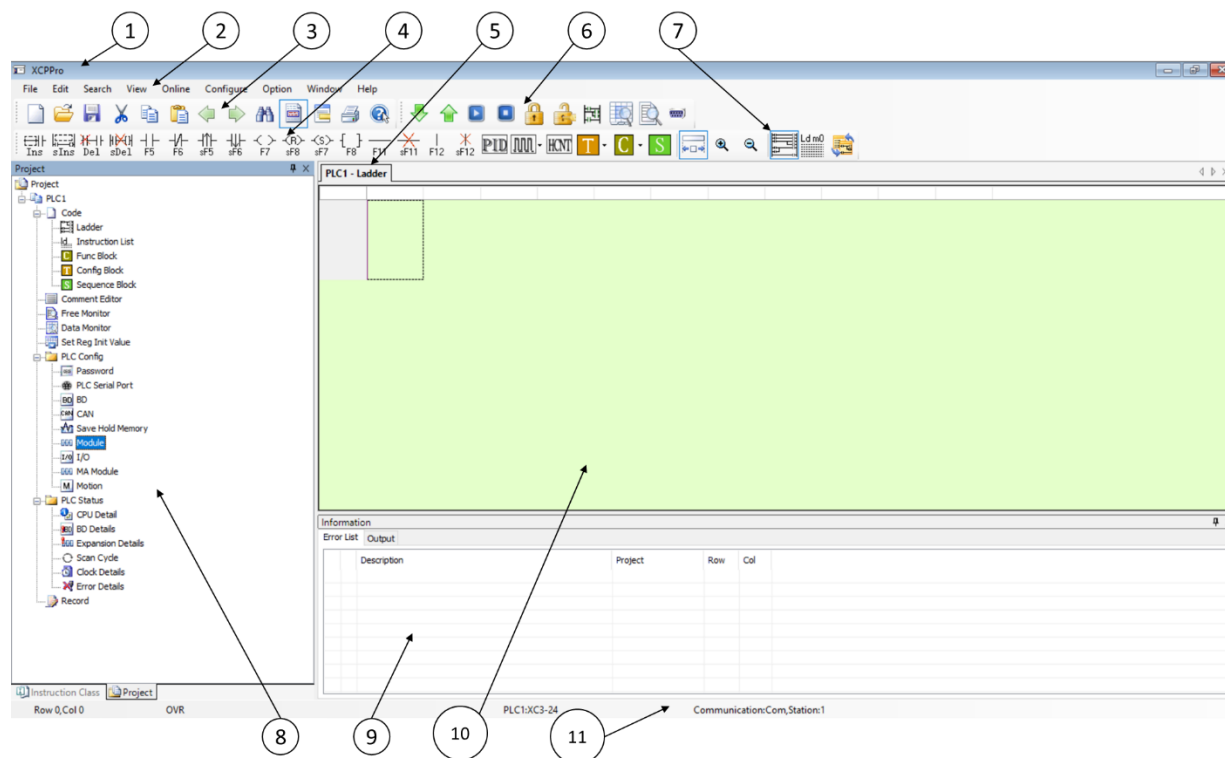


**Forma Básica de la Interfaz de XCP-Pro.** En la Figura 87, se aprecia la estructura básica de la interfaz del software XCP-Pro.



Figura 87

Forma básica de la interfaz XCP-Pro.



*Nota.* Cada ventana puede ser ajustada en ubicación y tamaños a voluntad del usuario.

Según la enumeración presentada en la Figura 87 se tiene que la estructura básica de la interfaz del programa XCPP-Pro posee en las siguientes partes:

1. Barra de título: Después del XCP-Pro, se muestra el nombre y la ruta del archivo del programa abierto.
2. Barra de menú: Se puede elegir la operación a realizar en el menú desplegable
3. Barra de herramientas convencionales: Muestra iconos de las funciones básicas, como copiar, buscar.
4. Barra de entradas Ladder: Permite seleccionar el símbolo de instrucción correspondiente.
5. Barra de cambio de ventana: Cambia de ventana.
6. Barra de herramientas para el PLC: Incluye cargar, descargar, ejecutar, etc.



7. Otros: Cambia la ventana a programación por Ladder o por lista de instrucciones.
8. Barra de proyecto / barra de instrucciones: Muestra el catálogo del proyecto y la lista de instrucciones. El objetivo de esta barra es para la operación conveniente del usuario, estas funciones también se incluyen en la barra de menú.
9. Barra de información: Muestra la lista de errores y la salida.
10. Área de edición: Área de programación por lista de instrucciones o por diagrama de escalera.
11. Barra de estado: Muestra el modelo de PLC, método de comunicación, estado de funcionamiento.

### **Programación del Controlador**

Primero se realiza la conexión física del PLC Xinje XC3-24RT-E con el computador donde se va a realizar la programación. Se utiliza el cable de programación de proporciona el fabricante PC-XC/DVP y se realiza la conexión con cualquiera de los puertos COM (RS232) existentes en el PLC. Si no se posee un puerto RS232M en la PC se puede adquirir un cable adaptador RS232 DB9F a USB.

### **Figura 88**

*Comunicación entre PLC Xinje y PC.*

#### 1. RS232 COM port

The pin graph of COM 1 (Port1):



Mini Din 8 core socket (Hole)

- 2: PRG
- 4: RxD
- 5: TxD
- 6: VCC
- 8: GND

• The pin graph of COM 1 (Port1):



Mini Din 8 core socket (Hole)

- 4: RxD
- 5: TxD
- 8: GND



PLC Xinje  
XC-24RT-E



PC



PC-XC/DVP

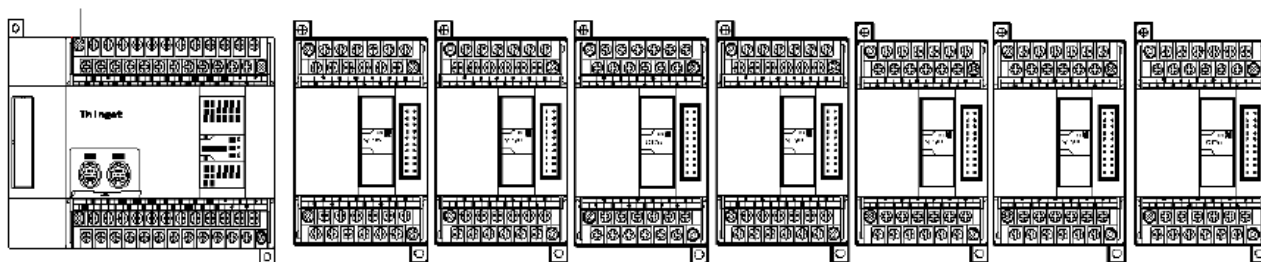


SERIAL RS232 DB9 - USB

El PLC Xinje XC3-24RT-E se conecta mediante su puerto de expansión con los módulos de control de temperatura XC-E6TCA-P. Este PLC puede ampliarse en su parte derecha con 7 módulos y 1 placa BD. Estos pueden ser PLC de la serie XC, unidades de expansión para I/O On-Off o analógicas, módulos de control de temperatura, módulos especiales, etc. En la Figura 89, se puede observar la configuración física de los módulos de control de temperatura junto con el PLC Xinje XC3-24RT-E.

### Figura 89

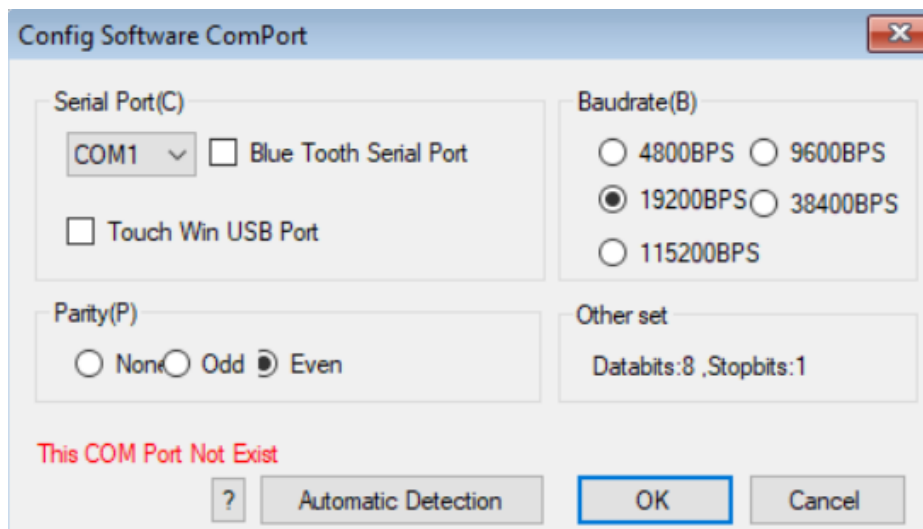
*Configuración física de los módulos de expansión con PLC de la familia XC.*



Para realizar la conexión del PLC con la interfaz de XCP-Pro, se debe dar click en el ícono “Software Serial Port Config” y se desplegará la ventana de la Figura 90. En esta ventana se configura el puerto serial, la tasa de baudios y la paridad. Se puede utilizar la detección automática del PLC dando click en “Automatic Detection” y el programa reconocerá por si solo el PLC conectado.

**Figura 90**

Configuración de la comunicación en XCP-Pro.



La programación del controlador se basó en los diagramas graficet diseñados con anterioridad, así como también en los diagramas de flujo para el funcionamiento del motor y la función de autosintonización para los valores PID. Todo se programó en lenguaje Ladder

La autosintonización se realizó en un flujo de programa o “flow” utilizando instrucciones como STL y STLE para dar inicio y final al flujo donde se ejecuta la autosintonización, basándose en el ejemplo presente en el manual de usuario del módulo de expansión para adquisición de temperatura XC-E6TAC-P.

### **Tabla de Registros**

Los registros utilizados en la programación del controlador se presentan en la tabla del Anexo 8.

### **Implementación de Interfaz Hombre – Máquina**

El software de desarrollo de la HMI se escogió de acuerdo con la pantalla seleccionada para la automatización, se tomó en cuenta la compatibilidad con el controlador, protocolos y

licencias. Con las consideraciones descritas el software utilizado para el desarrollo es Kinco HMIware 2.5.

### ***Descripción del Software***

Kinco HMIware es un software de configuración de interfaz hombre-máquina desarrollado por Kinco Electric, es especial para los modelos de la serie mt4000 proporcionando un potente entorno de desarrollo integrado para los usuarios.

### ***Instalación de Kinco HMIware***

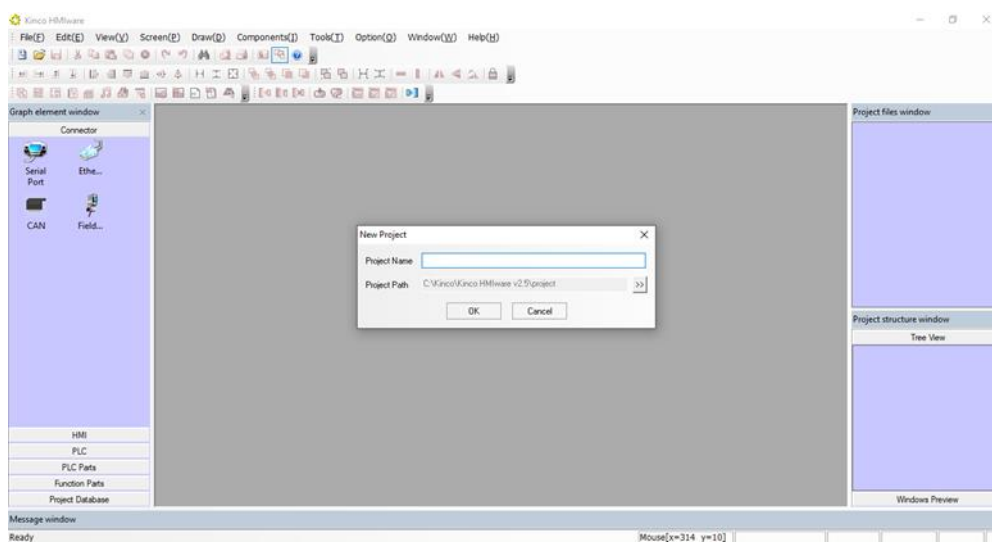
El procedimiento de instalación del software Kinco HMIware para la programación de la pantalla HMI se encuentra en el Anexo 9.

### ***Configuración del Software de la Interfaz Humano-Máquina***

**Creación de Nuevo Proyecto.** Para la creación de un nuevo proyecto se debe abrir el programa y dar click en la pestaña file, de la barra de herramientas, y escoger la opción New. Se abre una ventana para nombrar el nuevo proyecto y seleccionar donde se guarda. Esta venta se la puede visualizar en la Figura 91.

### **Figura 91**

*Creación de un nuevo proyecto.*



**Conexión del PLC con la Pantalla HMI.** En el apartado Graph element window se debe seleccionar el PLC y HMI que se utilizarán en el proyecto y arrastrarlos a la ventana del medio. Existen dos tipos de comunicación que deben ser configurados, la primera es comunicación entre HMI y PLC que permite el funcionamiento monitoreo y control del proceso, mientras que la segunda es la comunicación entre HMI y PC que sirve para poder realizar la descarga del diseño realizado en el software hacia la pantalla física.

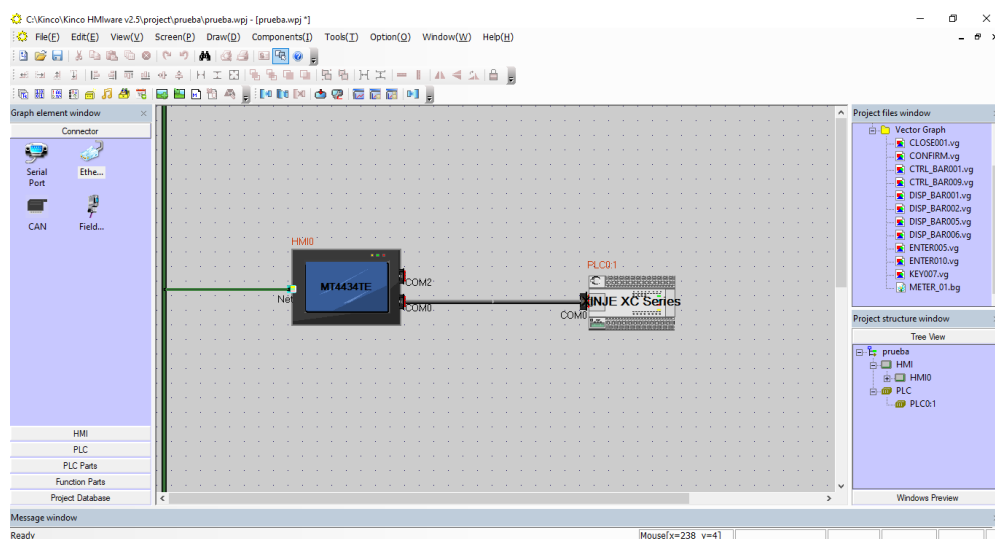
La comunicación HMI – PLC se realiza a través del puerto serial, para esto en el apartado Connector se debe arrastrar la opción Serial Port hacia la interfaz COM0 de la HMI y conectar el otro extremo a la interfaz COM0 del PLC.

La comunicación HMI-PLC se realiza a través del puerto ethernet, por lo tanto, en el apartado Connector se deberá arrastrar opción Ethernet hasta el puerto con el mismo nombre de la HMI, el otro extremo se conectará de manera automática hacia la parte lateral izquierda de la pantalla simulando la conexión con la PC.

En la Figura 92 se puede ver la conexión realizada.

## Figura 92

*Conexión entre PLC y HMI.*



**Configuración de Comunicación entre HMI y PC.** Para conectarse con la pantalla HMI y descargar el diseño de la interfaz se debe dar doble click en la pantalla central sobre el equipo pantalla HMI, se abrirá una ventana de configuración. En la pestaña HMI, se debe configurar la dirección IP, mascara de subred y Gateway. Esta configuración se puede observar en la Figura 93. Es muy importante asignar a la PC una dirección IP dentro del rango de red en el que se configuró la HMI para que exista conexión.

### Figura 93

*Configuración de dirección IP de pantalla HMI.*

The image shows a software window titled "HMI Attribute" with a close button (X) in the top right corner. The window contains several tabs: Security Levels Setting, User Permissions Setting, Historical Events Storage, Print Setting, COM0 Setting, COM2 Setting, Extended Memory, HMI (selected), Task Bar, HMI License Setting, HMI Extended Attributes, and HMI System Information Text. The "Network Setting" section is expanded and contains the following fields:

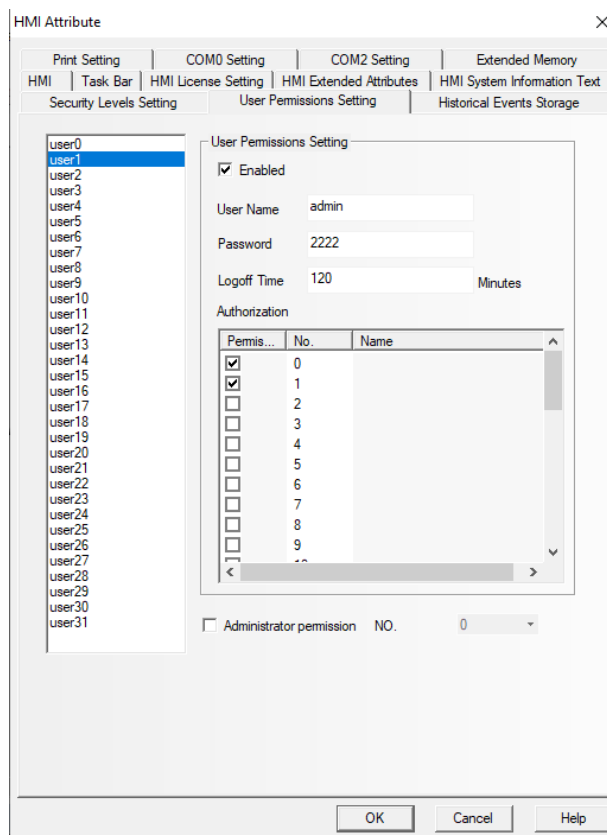
- IP: 192 . 168 . 0 . 253
- Subnet Mask: 255 . 255 . 255 . 0
- Default Gateway: 192 . 168 . 0 . 1

There are also buttons for "Network Device Setting" and "Field Bus Setting". A checkbox labeled "Open FTP" is present with a "Password:" field containing "888888". The "Display Setting" section has radio buttons for "Horizontal" (selected) and "Vertical". Below that, a checkbox "Save Screenshot to The Extended Memory" is checked, with radio buttons for "USB1" (selected) and "HMI". At the bottom, there is a "Description" text box and three buttons: "OK", "Cancel", and "Help".

**Configuración de Niveles de Permiso de Usuarios HMI.** Dentro del funcionamiento de la HMI existen la configuración de niveles de permisos para los usuarios, esto permite la diferenciación entre funciones de operador y supervisor. Para configurar los niveles de permiso de usuario se debe dar click sobre la imagen de HMI y en la pestaña Users Permission Setting se habilita los usuarios necesarios, para el presente proyecto se habilitó el usuario 1, el usuario ya que el usuario 0 está habilitado por defecto. El usuario 1 estará protegido por contraseña y nombre de usuario el cual será configurado en el diseño de la pantalla. Dentro de la configuración del usuario habilitado existe un tiempo definido para cerrar sesión automáticamente además del nivel de permisos que tendrá el usuario. La pestaña de configuración de permisos de usuario se muestra en la Figura 94.

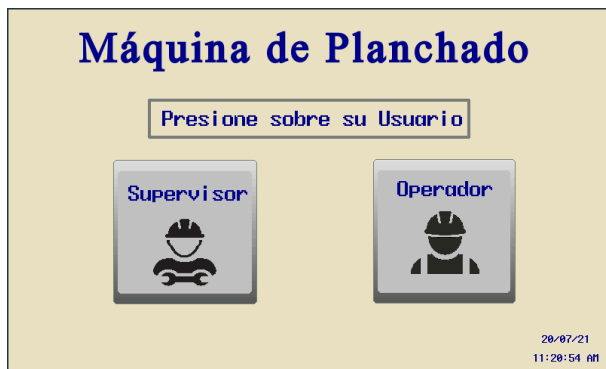
**Figura 94**

*Configuración de permiso de niveles de usuario.*

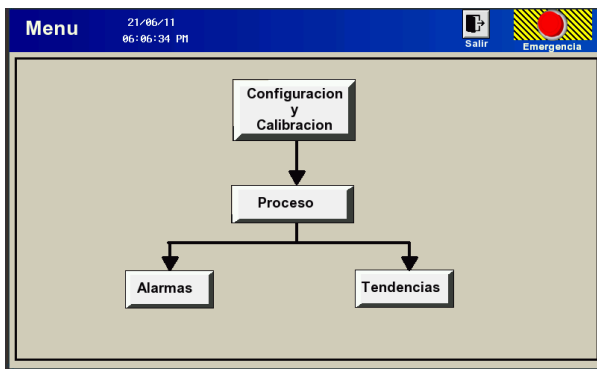


**Creación de Pantallas.** Para la creación en el apartado Project structure window dar click derecho sobre HMI0 y escoger la opción Add Frame. Aquí se crea las pantallas descritas en el Capítulo IV. En la Figura 95 se muestra las pantallas creadas para el proyecto.

**Figura 95**  
*Pantallas Diseñadas.*



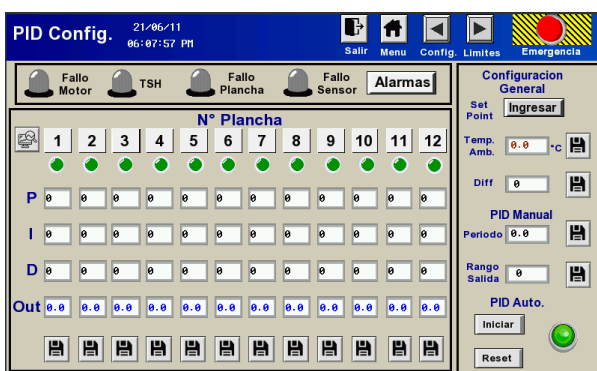
(a) Inicio de Sesión



(b) Menú / Arquitectura



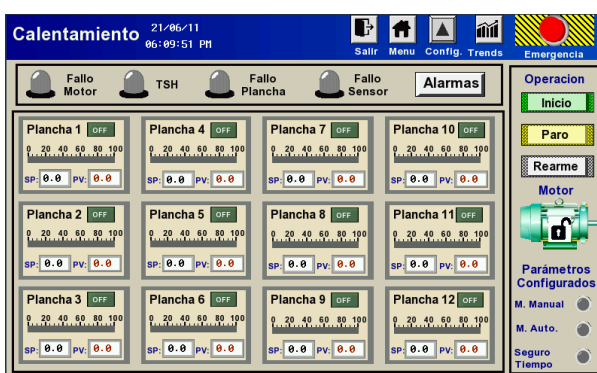
(c) Configuración previa



(d) Calibración PID

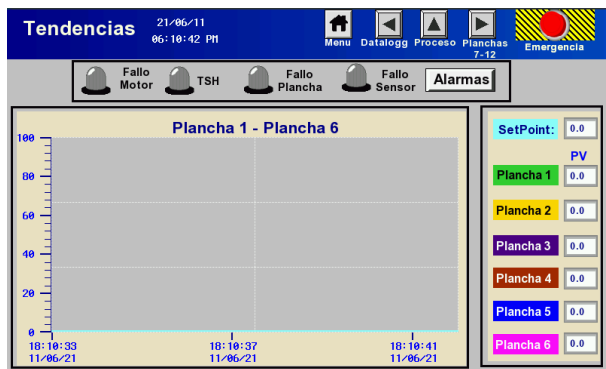


(e) Configuración fallas

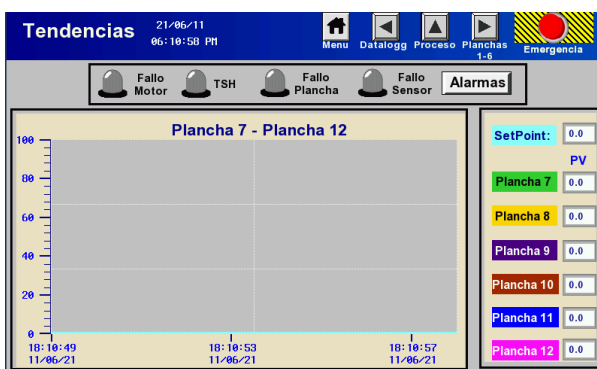


(f) Proceso de Calentamiento





(g) Tendencias Módulo 1



(h) Tendencias Módulo 2

Fecha	Hora	Mensaje

(i) Resumen de Alarmas

No.	Fecha	Hora	Plancha 1	Plancha 2	Plancha 3	P1
9	02/06/21	21:35:29	0.0	0.0	0.0	0.
8	27/05/21	16:39:39	0.0	0.0	0.0	0.
7	27/05/21	16:39:29	0.0	0.0	0.0	0.
6	27/05/21	16:39:19	0.0	0.0	0.0	0.
5	27/05/21	16:39:09	0.0	0.0	0.0	0.
4	27/05/21	16:38:59	0.0	0.0	0.0	0.
3	27/05/21	16:38:49	0.0	0.0	0.0	0.
2	27/05/21	16:38:38	0.0	0.0	0.0	0.
1	27/05/21	16:38:28	0.0	0.0	0.0	0.

(j) Datalogger

## Capítulo VI

### Puesta en Marcha

#### Configuración de Valores de Proceso y Parámetros de Control

Finalizada la instalación se procede a realizar las respectivas pruebas y configuraciones básicas para el proceso de calentamiento, como son la configuración de la temperatura y el tiempo para detectar una falla en las planchas y activar la alarma correspondiente, la configuración del tiempo de fin proceso una vez que se apaguen todas las planchas y finalmente la configuración del tiempo de seguridad para que la máquina apague todas las salidas sea cual sea el caso, una vez haya llegado a este tiempo.

Se debe realizar otras configuraciones en los controladores referentes al control del proceso de calentamiento, estas son las constantes PID, la temperatura ambiente, el valor de Diff, el periodo de control de temperatura y el rango de salida de la autosintonización. La explicación de estos parámetros se da a continuación.

- **Parámetros PID:** Los mejores parámetros PID se obtiene de la autosintonización. Si los parámetros PID obtenidos no pueden cumplir con los requisitos de control, los usuarios pueden configurar estos parámetros según la experiencia para que el módulo funcione de acuerdo con los valores de configuración del usuario.
- **Temperatura ambiente:** La temperatura ambiente es importante para realizar el ajuste de la temperatura leída por el sensor y que ésta sea la más aproximada a la real. La configuración de este valor es importante, debido a que, si este no es correcto se mostraría una lectura errónea.
- **Valor Diff:** Define un rango de temperatura ( $T \pm \text{Diff}$ , T es el setpoint de temperatura) en el que se aplica el control PID. En un entorno real de control de temperatura, cuando la

temperatura sea inferior a  $T - \text{Diff}$ , la salida PID es el valor máximo; cuando la temperatura es superior a  $T + \text{Diff}$ , la salida PID es el valor mínimo.

- Período de control de temperatura (Unidad:0.1 s): El período de control de temperatura varía de 0.5 a 200 segundos, la precisión mínima es de 0.1 segundos. El valor establecido = valor real x 10. Por ejemplo: si el período de control de temperatura real es de 0.5 segundos, el usuario debe configurar 5 segundos en el módulo.
- Rango de salida de la autosintonización: La unidad de salida de la autosintonización es en porcentaje. Es decir, el valor de 100 significa que la relación entre marcas y espacios es el 100% de la salida a escala completa, 80 significa que la relación entre marcas y espacios es el 80% de la salida a gran escala.

En Tabla 39, se muestran los valores de las configuraciones realizadas, tanto para alarmas como para el control del proceso.

**Tabla 39**

*Valores configurados en el sistema.*

<b>Configuración de fallas</b>		
<b>Función</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Valor configurado</b>
Configuración Falla de Plancha	Temperatura	25°C
	Tiempo	30 min
Configuración Tiempo Fin de Proceso	Tiempo	30 s
Configuración Seguro de Tiempo	Tiempo	180 min
<b>Configuración de fallas</b>		
<b>Función</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Valor configurado</b>
Valor Diff	Diff	10
Periodo de Control de temperatura	Temperature control period	20
Rango de salida de autosintonización	Self-study output range	100

El valor de temperatura ambiente se lo configura antes de realizar el proceso de calentamiento, esta temperatura se obtiene utilizando como referencia un termómetro de aguja que se lo introduce en la plancha, siendo este valor la temperatura ambiente general para todos los canales.

Para configurar los valores de la temperatura setpoint para cada canal se solicitó que el operario manejara la máquina como lo hace regularmente, midiendo la temperatura con el termómetro de aguja, pero realizando la desconexión de las planchas manualmente desde la pantalla, esto permitió definir los valores de temperatura a los que se desenergizaba la plancha en el proceso tradicional. De esto se obtuvo valores de setpoint bastantes próximos a los 80 grados, como se muestra la Tabla 40.

**Tabla 40**

*Valores setpoint configurados.*

Número de plancha	Temperatura Setpoint [°C]
1	74.0
2	82.0
3	84.3
4	82.5
5	81.0
6	80.0
7	83.0
8	75.0
9	80.7
10	85.0
11	72.0
12	78.0

Se empleó la función de autosintonización para obtener los valores PID que el controlador de temperatura calculaba como óptimos para cada canal. En las tablas Tabla 41 y

Tabla 42, se observan los valores que se obtuvieron de este proceso, estos se aplicaron en pruebas con las 12 planchas encendidas, estos resultados serán analizados en el siguiente capítulo,

**Tabla 41**

*Constantes PID configuradas para el módulo 1 de temperatura XC-E6TCA-P por autosintonización.*

Canal	Plancha	Constantes PID		
		Kp	Ki	Kd
Canal 0	Plancha 1	156	6000	1500
Canal 1	Plancha 2	94	7500	1875
Canal 2	Plancha 3	100	4400	1100
Canal 3	Plancha 4	124	8600	2150
Canal 4	Plancha 5	135	5800	1450
Canal 5	Plancha 6	130	6700	1675

**Tabla 42**

*Constantes PID configuradas para el módulo 2 de temperatura XC-E6TCA-P por autosintonización.*

Canal	Plancha	Constantes PID		
		Kp	Ki	Kd
Canal 0	Plancha 7	97	5800	1450
Canal 1	Plancha 8	148	9200	2300
Canal 2	Plancha 9	100	7400	1850
Canal 3	Plancha 10	103	4300	1075
Canal 4	Plancha 11	141	6500	1625
Canal 5	Plancha 12	69	6300	1575

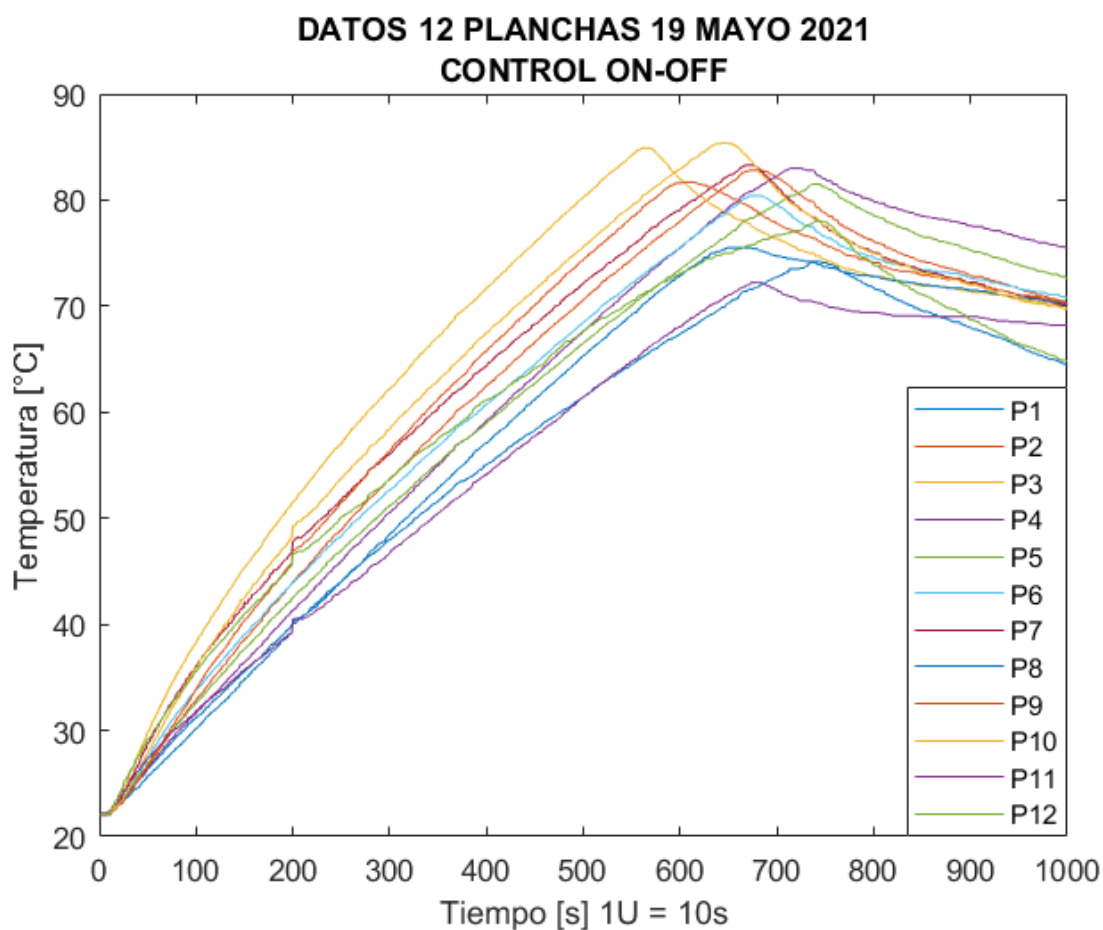


### Control ON/OFF

Para la obtención de los datos de temperatura aplicando la técnica de control ON/OFF se empezó con una temperatura ambiente inicial de 22 °C. Se realizaron la captura de 5036 datos con un tiempo de muestreo de 10 s. En la Figura 97, se aprecia la gráfica obtenida en el software MATLAB a partir de los datos capturados por el Datalogger, para la gráfica se limitó los 1000 primeros datos donde se aprecia el comportamiento de la variable a controlar.

**Figura 97**

*Captura de datos aplicando control ON/OFF.*



En la Tabla 43, se resume los datos importantes a ser analizados de la Figura 97, como son el setpoint de temperatura para cada plancha, la temperatura alcanzada, el error porcentual

entre estas dos temperaturas y el tiempo que le llevó a cada plancha alcanzar su setpoint configurado.

**Tabla 43**

*Resumen de comportamiento de temperatura aplicando control ON/OFF.*

<b>Control On-Off</b>					
<b>Plancha</b>	<b>Temperatura Setpoint</b>	<b>Temperatura Máxima</b>	<b>Error</b>	<b>Tiempo</b>	
	<b>[°C]</b>	<b>[°C]</b>	<b>Temperatura</b>	<b>[hh: mm: ss]</b>	
1	74	74.2	0.3%	2:03:00	
2	82	82.8	1.0%	1:52:50	
3	84.3	84.9	0.7%	1:34:30	
4	82.5	83	0.6%	2:00:40	
5	81	81.5	0.6%	2:03:30	
6	80	80.4	0.5%	1:53:00	
7	83	83.3	0.4%	1:52:30	
8	75	75.5	0.7%	1:52:10	
9	80.7	81.7	1.2%	1:42:00	
10	85	85.4	0.5%	1:47:50	
11	72	72.3	0.4%	1:53:30	
12	78	78	0.0%	2:04:30	

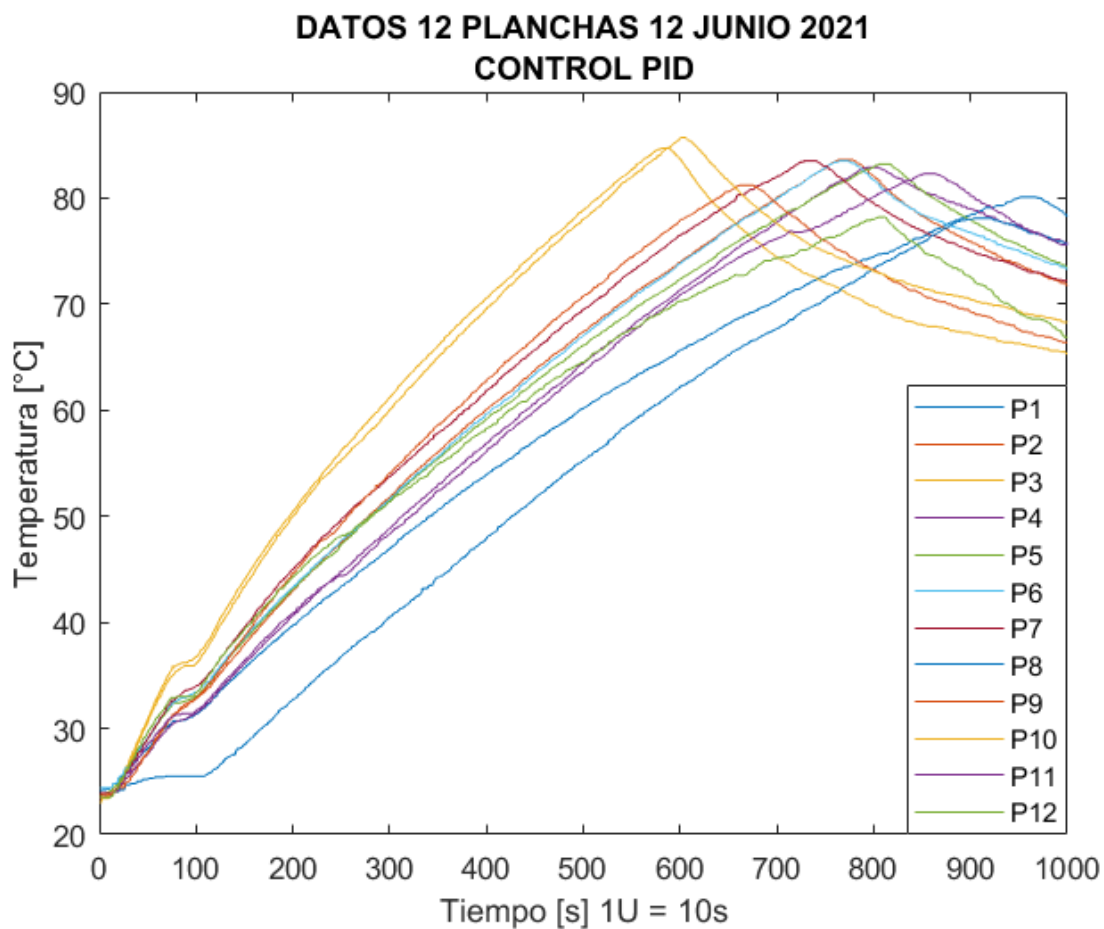
### **Control PID**

Los datos de temperatura obtenidos aplicando la técnica de control PID se la realizó con una temperatura ambiente inicial de 23.5 °C. Se efectuó la captura de 1006 datos con un tiempo de muestreo de 10 s. En la Figura 98, se aprecia la gráfica obtenida en el software MATLAB a partir de los datos capturados por el Datalogger, para la gráfica se limitó los 1000 primeros datos donde se aprecia el comportamiento de la variable a controlar.



**Figura 98**

Captura de datos aplicando control PID.



El resumen de los datos importantes a ser analizados de la Figura 98 se puede apreciar en la Tabla 44, en esta se encuentran los setpoint de temperatura configurados para cada plancha, la temperatura alcanzada, así como su error con respecto a su setpoint y el tiempo en que se demoró cada plancha en llegar a esta temperatura.

Se puede ver en la Tabla 44 que algunos valores de setpoint son diferentes a los presentados en la Tabla 43, estos valores fueron modificados para observar el comportamiento en el caso que sea necesario variar el setpoint.

**Tabla 44**

*Resumen de comportamiento de temperatura aplicando control PID.*

Plancha	Control PID			
	Temperatura Setpoint [°C]	Temperatura Máxima [°C]	Error Temperatura	Tiempo [hh: mm: ss]
1	80	80.1	0.1%	2:40:30
2	83	83.6	0.7%	2:09:50
3	84.3	84.7	0.5%	1:37:20
4	82.5	82.9	0.5%	2:14:00
5	83	83.2	0.2%	2:15:40
6	80	83.5	4.4%	2:09:30
7	83	83.5	0.6%	2:02:20
8	77.6	78.1	0.7%	2:33:40
9	80.7	81.2	0.6%	1:51:20
10	85	85.7	0.8%	1:41:00
11	82	82.3	0.4%	2:23:10
12	78	78.2	0.3%	2:14:40

#### ***Análisis de Resultados Obtenidos de las Técnicas de Control ON/OFF y PID***

Se puede observar la Tabla 43 los resultados obtenidos aplicando el control ON/OFF, donde se aprecia un error porcentual absoluto medio de 0.6% siendo muy aceptable para la aplicación; además, se puede observar que el tiempo en que cada plancha llega al setpoint configurado no sobrepasa las 2 horas con excepción de las planchas extremas que son la 1 y la 12, esto es debido a que estas poseen solo una plancha vecina que ayuda acelerar su incremento de temperatura mediante transferencia de calor.

En cuanto a los resultados obtenidos del control PID que se muestran en la Tabla 44, se puede igual apreciar que el error porcentual absoluto medio es 0.8% la cual es mayor al obtenido con el control ON/OFF; sin embargo, sigue siendo considerado un error aceptable. En cuanto, a los tiempos en los que alcanzaron las temperaturas de setpoint configuradas son mayores, llegando a sobrepasar las 2 horas de tiempo de calentamiento en la mayoría de las planchas, esto debido a que la cantidad de energía suministrada a la plancha varía proporcionalmente mientras más cerca se encuentre la temperatura de la plancha a su setpoint, lo que provocaría que el incremento de temperatura sea más lento en comparación con el control ON/OFF. Este control permite de cierta forma un ahorro energético; sin embargo, asimismo extiende el tiempo de finalización del proceso lo que dificultaría en algunos casos la cantidad de puestas en marcha se puedan realizar en un solo día.

En otras pruebas realizadas del sistema puesto en marcha, existieron ciertas variaciones en los tiempos de ejecución del proceso. Esto debido a que las circunstancias de la capacidad de carga de la máquina varían de acuerdo con la demanda, además se observó que estas variaciones también se daban por el tipo y cantidad de prendas que configuraban cada bloque, pues la compartición de temperatura por transferencia de calor entre planchas vecinas no es la misma.

### **Calidad del Planchado**

Para la evaluación del planchado se preparó una encuesta de 5 preguntas realizadas tanto el operador como a los clientes, antes y después de la modernización, la cual evalúa las características de las prendas después del planchado. En total fueron encuestadas 10 personas entre clientes y el operador. La encuesta se realizó en dos momentos diferentes, el primero previo a la modernización del proceso y el segundo una vez implementado el proyecto de modernización. En las Tabla 45 se puede observar las preguntas utilizadas para la evaluación correspondientemente.

**Tabla 45**

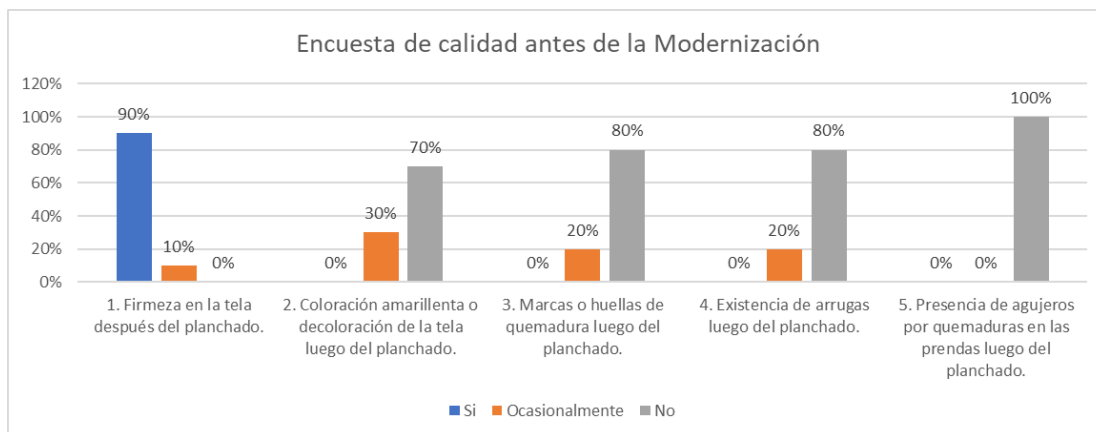
*Encuesta sobre la calidad de planchado.*

Encuesta de Calidad del Planchado #1				
N°	Indicador de Evaluación	Si	Ocasionalmente	No
1	Firmeza en la tela después del planchado.			
2	Coloración amarillenta o decoloración de la tela luego del planchado.			
3	Marcas o huellas de quemadura luego del planchado.			
4	Existencia de arrugas luego del planchado.			
5	Presencia de agujeros por quemaduras en las prendas luego del planchado.			

En la Figura 99, se muestra los resultados de la encuesta aplicada previo a la modernización del sistema. Los resultados para la primera pregunta indican que el 90% de las prendas adquieren la firmeza necesaria con el proceso realizado de forma manual. Las preguntas 2 y 3 de la encuesta se refieren a ciertos problemas que se presentan en el proceso de planchado afectando directamente a la calidad debido a la exposición excesiva de calor. La pregunta número 4 indica que las arrugas en el planchado se producen en un 20%, respecto a esto el operador indicó que esto depende de la manera en la que se coloca las prendas entre los cartones antes del prensado, mas no se ve afectado por la presión o temperatura a la que son sometidas pues estas ya están definidas. La última pregunta indica que la máquina no es capaz de alcanzar a una temperatura que produzca agujeros en la tela por esta razón no existen errores de este tipo en el proceso.

## Figura 99

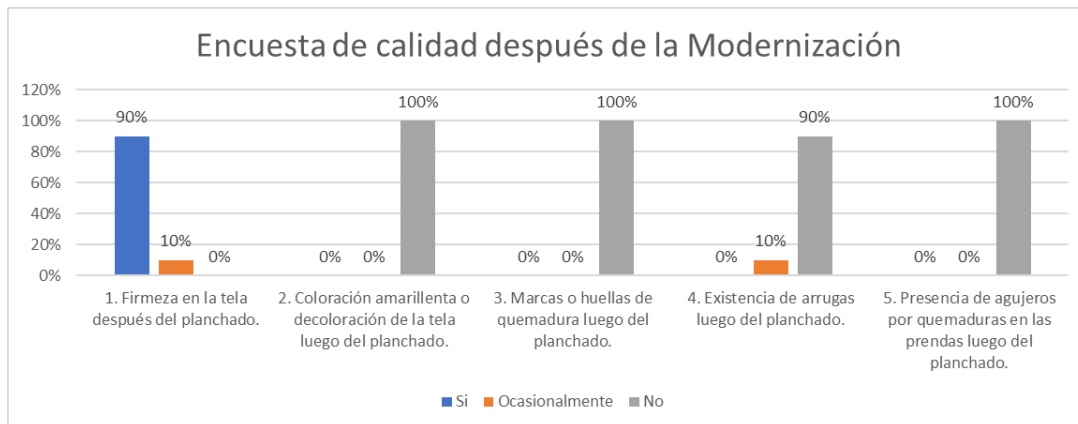
### Resultados de la encuesta de calidad antes de la modernización



En la Figura 100 se observan los resultados de la encuesta aplicada después de la modernización del sistema. Los resultados muestran que en cuanto a firmeza de la tela luego del planchado se conservó la misma que se obtenía anteriormente. Con respecto a errores producidos por una exposición excesiva a altas temperaturas, se nota una disminución total gracias a que el sistema implementado impide que se alcancen temperaturas que puedan afectar a los tejidos. A pesar de que los resultados de la cuarta pregunta muestran una disminución en las arrugas presentes en las prendas luego del planchado, este resultado es relativo y depende en la forma en que se colocan las prendas entre el cartón como se indicó anteriormente. Finalmente, tampoco se han alcanzado altas temperaturas capaces de producir agujeros en las telas.

**Figura 100**

*Resultados de la encuesta de calidad antes de la modernización*



Lo que se puede destacar de los resultados es que ya no se verán afectadas las prendas por algún descuido del operador al no desenergizar las planchas en el tiempo predeterminado ya que se automatizó el proceso de calentamiento; esto evitará cualquier afectación en las prendas, especialmente en las más delicadas y en las de colores claros, puesto que en estas eran evidente cuando se sobrepasaba la exposición a altas temperaturas ya que tomaban una coloración amarillenta. En conclusión, con el sistema implementado se asegura totalmente y de manera global la conservación de la calidad del planchado.

### **Pruebas de Luces de Señalización**

Adicionalmente, se realizaron pruebas de las luces de señalización e identificación de las alarmas, simulando todas las fallas que pudieran presentarse y observando el funcionamiento de las luces de señalización, además de las luces que indican el funcionamiento del motor y la ejecución del proceso de calentamiento. Esto para corroborar que su comportamiento sea el adecuado dependiendo de la situación que se presentase.

Figura 101

*Pruebas de luces de señalización frente a fallas y estados del proceso.*



(a) Proceso de calentamiento encendido.



(b) Proceso de calentamiento apagado.



(a) Alarma paro de emergencia.



(b) Alarma fallo de plancha.



(c) Alarma de fallo de sensor (Tren de pulsos).





(d) Alarma de fallo de motor (Tren de pulsos).

### Pruebas de Operación de la Máquina

Se capacitó a los operadores para que maniobraran la máquina con el fin obtener retroalimentación a través de sus comentarios y con esto realizar las modificaciones necesarias al sistema implementado. Los cambios solicitados y realizados fueron más de forma que de fondo, quedando satisfechos con los resultados obtenidos de la operabilidad de la máquina y la calidad del producto final que son los parámetros de mayor importancia para el operador. Se proporcionó una maniobrabilidad sencilla y segura, además se aseguró la calidad del producto mediante el control de temperatura.

### Figura 102

#### *Pruebas de operación de la máquina*



(a) Montaje de los bloques de prendas.



(b) Colocación de los bloques en la máquina.





(c) Extracción de los pernos de sujeción y prensado.



(d) Configuración e inicio del proceso

## Pruebas sobre Interfaz Humano Máquina – HMI

### Evaluación HMI

La interfaz HMI ha sido diseñada, tomando en consideración la norma ISA101 y guía Gedis, en el apartado Diseño de la HMI.. La evaluación de la interfaz fue realizada al operador y dueño de la maquinaria, así como a su ayudante, para ello se entregó una hoja con las tablas que se muestran a continuación, estas fueron llenadas con sus calificaciones respectivas.

La Guía Gedis posee diez indicadores, cada uno de estos tiene un peso en la evaluación, cada indicador se descompone en subdirectrices que al igual que los indicadores tienen un peso (Filali Yachou, 2014).

La ecuación (1) se utiliza para realizar la evaluación de subdirectriz o subindicador.

$$Subindicador = \frac{\sum_{j=1}^J w_j \times subind_j}{\sum_{j=1}^J w_j} \quad (1)$$

Donde:

- $w_j$ : Peso de cada subdirectriz
- $subind_j$ : Subdirectriz escogido

Con el valor de cada subdirectriz calculado, se realiza la evaluación total utilizando la ecuación (2).

$$\text{Indicador} = \frac{\sum_{j=1}^J p_j \times \text{Ind}_j}{\sum_{j=1}^J p_j} \quad (2)$$

Donde:

- $p_j$ : Peso de cada indicador
- $\text{Ind}_j$ : Indicador escogido

En la Tabla 46 se muestra cada indicador y su peso respectivamente representado en forma de porcentaje que servirá para la evaluación final.

**Tabla 46**

*Indicadores y pesos de evaluación de HMI.*

<b>N°</b>	<b>Indicador</b>	<b>Peso</b>
1	Arquitectura	10%
2	Distribución de pantallas	10%
3	Navegación	10%
4	Uso del color	10%
5	Uso de fuentes e información textual	10%
6	Estatus de los equipos y eventos de proceso	10%
7	Información y valores de proceso	10%
8	Gráficos de tendencias y tablas	10%
9	Comandos y entradas de datos	10%
10	Alarmas	10%
<b>Total</b>		<b>100%</b>

A continuación en las Tablas Tabla 47, Tabla 48, Tabla 49, Tabla 50, Tabla 51, Tabla 52, Tabla 53, Tabla 54, Tabla 55 y Tabla 56 se muestra las subdirectrices y los pesos de cada una, el valor de cada peso se ajusta a la importancia en la HMI y sugerencia del cliente.

**Tabla 47***Subdirectrices de indicador arquitectura.*

<b>N°</b>	<b>Subdirectriz</b>	<b>Peso</b>
1	Correspondencia con la planta	20%
2	Numero de capas	50%
3	Existencia de mapa	30%
<b>Total</b>		<b>100%</b>

**Tabla 48***Subdirectrices de indicador distribución de pantallas.*

<b>N°</b>	<b>Subdirectriz</b>	<b>Peso</b>
1	Consistencia	25%
2	Densidad	25%
3	Simetría y balance	25%
4	Flujo de proceso	25%
<b>Total</b>		<b>100%</b>

**Tabla 49***Subdirectrices de indicador de navegación.*

<b>N°</b>	<b>Subdirectriz</b>	<b>Peso</b>
1	Correspondencia con arquitectura	35%
2	Accesibilidad	35%
3	Consistencia	30%
<b>Total</b>		<b>100%</b>

**Tabla 50***Subdirectrices de indicador uso del color.*

<b>N°</b>	<b>Subdirectriz</b>	<b>Peso</b>
1	Visibilidad	20%
2	Contraste con el fondo	20%
3	Número de colores	15%
4	Diferenciabilidad entre colores	15%
5	Uso de colores típicos	15%
6	Consistencia	15%
<b>Total</b>		<b>100%</b>

**Tabla 51***Subdirectrices de indicador uso de información textual.*

<b>N°</b>	<b>Subdirectriz</b>	<b>Peso</b>
1	Número de fuentes	10%
2	Número de tamaños	15%
3	Visibilidad del texto	15%
4	Espaciamiento	10%
5	Alineación	10%
6	Uso del énfasis	10%
7	Uso de acrónimos	10%
8	Coloración del texto	10%
9	Consistencia	10%
<b>Total</b>		<b>100%</b>

**Tabla 52**

*Subdirectrices de indicador estatus de equipos y eventos de proceso.*

<b>N°</b>	<b>Subdirectriz</b>	<b>Peso</b>
1	Facilidad de reconocimiento	35%
2	Visibilidad del estado del equipo	35%
3	Consistencia	30%
<b>Total</b>		<b>100%</b>

**Tabla 53**

*Subdirectrices del indicador valores del proceso.*

<b>N°</b>	<b>Subdirectriz</b>	<b>Peso</b>
1	Visibilidad	20%
2	Ubicación	20%
3	Distribución	20%
4	Agrupación de datos	20%
5	Consistencia	20%
<b>Total</b>		<b>100%</b>

**Tabla 54**

*Subdirectrices de indicador gráficos y tendencias y tablas.*

<b>N°</b>	<b>Subdirectriz</b>	<b>Peso</b>
1	Formato	15%
2	Visibilidad	20%
3	Ubicación	15%
4	Agrupación	20%
5	Flexibilidad de configuración	15%
6	Consistencia	15%
<b>Total</b>		<b>100%</b>

**Tabla 55**

*Subdirectrices del indicador comandos y entradas de datos.*

<b>N°</b>	<b>Subdirectriz</b>	<b>Peso</b>
1	Visibilidad	25%
2	Maniobrabilidad	25%
3	Retroalimentación	25%
4	Consistencia	25%
<b>Total</b>		<b>100%</b>

**Tabla 56**

*Subdirectrices del indicador alarmas.*

<b>N°</b>	<b>Subdirectriz</b>	<b>Peso</b>
1	Visibilidad de la ventana de alarmas	15%
2	Accesibilidad de la ventana de alarmas	15%
3	Ubicación de la ventana de alarmas	15%
4	Informatividad de los textos de alarmas	15%
5	Visibilidad de alarmas en sinópticos	15%
6	Facilidad de reconocimiento	15%
7	Consistencia	10%
<b>Total</b>		<b>100%</b>

### ***Datos Obtenidos de Evaluación HMI***

En las Tablas Tabla 57 y Tabla 58, se muestra las calificaciones obtenidas como resultado de la evaluación por parte del operador y del ayudante.

**Tabla 57**

*Resultados de la evaluación de HMI realizada por el operador.*

<b>Indicador</b>	<b>Subindicador</b>	<b>Puntos</b>	<b>Peso</b>	<b>Calificación de Indicador</b>
Arquitectura	Correspondencia con la planta	5	20%	5
	Numero de capas	5	50%	
	Existencia de mapa	5	30%	
Distribución de pantallas	Consistencia	5	25%	4
	Densidad	3	25%	
	Simetría y balance	4	25%	
	Flujo de proceso	4	25%	
Navegación	Correspondencia con arquitectura	5	35%	5
	Accesibilidad	5	35%	
	Consistencia	5	30%	
Uso del color	Visibilidad	5	20%	4,85
	Contraste con el fondo	5	20%	
	Número de colores	4	15%	
	Diferenciabilidad entre colores	5	15%	
	Uso de colores típicos	5	15%	
	Consistencia	5	15%	
Uso de fuentes e información textual	Número de fuentes	5	10%	4,85
	Número de tamaños	5	15%	
	Visibilidad del texto	4	15%	
	Espaciamiento	5	10%	
	Alineación	5	10%	

	Uso del énfasis	5	10%	
	Uso de acrónimos	5	10%	
	Coloración del texto	5	10%	
	Consistencia	5	10%	
Estatus de los equipos y eventos de proceso	Facilidad de reconocimiento	5	35%	5
	Visibilidad del estado del equipo	5	35%	
	Consistencia	5	30%	
Información y valores de proceso	Visibilidad	4	20%	4,8
	Ubicación	5	20%	
	Distribución	5	20%	
	Agrupación de datos	5	20%	
	Consistencia	5	20%	
Gráficos de tendencias y tablas	Formato	5	15%	5
	Visibilidad	5	20%	
	Ubicación	5	15%	
	Agrupación	5	20%	
	Flexibilidad de configuración	5	15%	
	Consistencia	5	15%	
Comandos y entradas de datos	Visibilidad	5	25%	4,75
	Maniobrabilidad	4	25%	
	Retroalimentación	5	25%	
	Consistencia	5	25%	
Alarmas	Visibilidad de la ventana de alarmas	5	15%	5



Accesibilidad de la ventana de alarmas	5	15%
Ubicación ventana de alarmas	5	15%
Importancia de textos de alarmas	5	15%
Visibilidad de alarmas en sinópticos	5	15%
Facilidad de reconocimiento	5	15%
Consistencia	5	10%
		<b>Total 4,83</b>

**Tabla 58**

*Resultados de la evaluación de HMI realizada por el ayudante.*

<b>Indicador</b>	<b>Subindicador</b>	<b>Puntos</b>	<b>Peso</b>	<b>Calificación de Indicador</b>
Arquitectura	Correspondencia con la planta	5	20%	4,50
	Numero de capas	4	50%	
	Existencia de mapa	5	30%	
Distribución de pantallas	Consistencia	5	25%	4
	Densidad	3	25%	
	Simetría y balance	4	25%	
	Flujo de proceso	4	25%	
Navegación	Correspondencia con arquitectura	5	35%	4,65
	Accesibilidad	4	35%	
	Consistencia	5	30%	
Uso del color	Visibilidad	5	20%	4,85
	Contraste con el fondo	5	20%	

	Número de colores	4	15%	
	Diferenciabilidad entre colores	5	15%	
	Uso de colores típicos	5	15%	
	Consistencia	5	15%	
	<hr/>			
	Número de fuentes	5	10%	
	Número de tamaños	5	15%	
	Visibilidad del texto	4	15%	
	Espaciamiento	5	10%	
Uso de fuentes e información textual	Alineación	5	10%	4,85
	Uso del énfasis	5	10%	
	Uso de acrónimos	5	10%	
	Coloración del texto	5	10%	
	Consistencia	5	10%	
	<hr/>			
Estatus de los equipos y eventos de proceso	Facilidad de reconocimiento	5	35%	
	Visibilidad del estado del equipo	5	35%	5
	Consistencia	5	30%	
	<hr/>			
	Visibilidad	4	20%	
	Ubicación	5	20%	
Información y valores de proceso	Distribución	5	20%	4,8
	Agrupación de datos	5	20%	
	Consistencia	5	20%	
	<hr/>			
Gráficos de tendencias y tablas	Formato	5	15%	
	Visibilidad	5	20%	5
	Ubicación	5	15%	

	Agrupación	5	20%	
	Flexibilidad de configuración	5	15%	
	Consistencia	5	15%	
	Visibilidad	5	25%	
Comandos y entradas de datos	Maniobrabilidad	4	25%	4,75
	Retroalimentación	5	25%	
	Consistencia	5	25%	
	Visibilidad de la ventana de alarmas	5	15%	
	Accesibilidad de la ventana de alarmas	5	15%	
Alarmas	Ubicación ventana de alarmas	5	15%	5
	Importancia de textos de alarmas	5	15%	
	Visibilidad de alarmas en sinópticos	5	15%	
	Facilidad de reconocimiento	5	15%	
	Consistencia	5	10%	
			<b>Total</b>	<b>4,74</b>

### ***Pruebas de Gestión de Alarmas***

Como parte del diseño de alarmas de la HMI, se encuentra un punto importante que es la gestión de alarmas, cuando una alarma es activada permite el reconocimiento de la misma, de esta forma el operador podrá tener un seguimiento y conocer que anomalía se presentó para poder tomar acciones y corregir cualquier problema. El estado de las alarmas se rige a un código de colores detallado en la **Tabla 59**.

**Tabla 59**

*Código de colores para gestión de alarmas.*

<b>Color</b>	<b>Descripción</b>
Rojo	Alarma crítica activada
Amarillo	Alarma de falla activada
Verde	Alarma reconocida
Azul	Alarma desactivada (Problema corregido)

## Capítulo VIII

### Conclusiones y Recomendaciones

#### Conclusiones

- Se logró la automatización del proceso de calentamiento de las planchas de la máquina de planchado artesanal, modificando su funcionamiento para no necesitar supervisión permanente, mediante la implementación de un sistema basado en la lectura de las temperaturas individuales de cada plancha utilizando termocuplas tipo K en forma de bulbo y un módulo de expansión controlador de temperatura de 12 canales de la marca Xinje.
- En el sistema se implementaron dos técnicas de control que son ON/OFF y PID utilizando la función de autosintonización. De estas dos técnicas implementadas se obtuvieron resultados relativamente más satisfactorios con la técnica del ON/OFF debido a que el tiempo en culminar el proceso de calentamiento en la mayoría de las planchas es inferior al usar el control PID, lo que influye directamente en la cantidad de puestas en marcha que se pueda realizar por día con la máquina. En cuanto al error porcentual absoluto medio entre la temperatura alcanzada con la temperatura deseada aplicando estas dos técnicas de control son 0.6% para control ON/OFF y 0.8% para control PID, ambas aceptables para fines estrictamente prácticos.
- Se solucionaron los problemas de conexionado eléctrico y se colocaron las debidas protecciones eléctricas para cada etapa del sistema implementado, como son la alimentación general del sistema, la etapa de control y la etapa de potencia que involucra la energización de las planchas y el motor. Lo anteriormente citado redunda en la mejora de la confiabilidad y seguridad global del sistema.

- Se mejoró la calidad global del producto al implementarse el sistema controlado debido a que este impide eventualmente que las prendas se expongan excesivamente a altas temperaturas pudiendo decolorarlas o quemarlas, de esta manera se mantiene constante la calidad del producto que se venía manejando con anterioridad. La experiencia del operador proporcionó un aporte importante para determinar la temperatura adecuada para el proceso sin afectar la calidad del planchado de las prendas.
- Se implementaron funciones adicionales al proceso que brindan mayor seguridad durante su ejecución, como son alarmas de temperatura alta, alarmas contra fallos en las planchas y sensores; estas alarmas indican anomalías en el proceso que debe ser corregidas para evitar posteriores complicaciones. Adicionalmente, se agregó una función denominada seguro de tiempo que evita que las prendas se expongan a altas temperaturas según un tiempo determinado por el operador.
- La pantalla HMI implementada presenta información relevante para el operador permitiendo conocer el estado en tiempo real del proceso. El diseño fue evaluado por el cliente como operador y su ayudante, los resultados obtenidos fueron de 4,83 y 4,74. El porcentaje de aceptación del cliente con el resultado de la evaluación es de 95,7% lo que implica una valoración admisible para la funcionalidad dentro del proceso.
- Debido al tiempo de vida de las niquelinas y considerando el uso del sistema se observó que cada plancha tiene un límite de temperatura al que puede alcanzar, así como también se puede notar que cada plancha tiene un comportamiento diferente en cuanto al tiempo de calentamiento razón por la cual el sistema cuenta con un Set Point individual para cada plancha.

## Recomendaciones

- Para el buen funcionamiento del sistema implementado se recomienda tener presente realizar el mantenimiento preventivo necesario que permita evitar cualquier imprevisto que pueda afectar a la parte eléctrica, mecánica o de control de la máquina.
- Para el uso de la máquina es fundamental leer el manual de usuario donde se señalan los pasos a realizarse para poner en marcha la máquina; además, la manera en cómo se deben realizarse modificaciones a las configuraciones en caso de ser necesarias.
- Se recomienda posteriormente mejorar los circuitos internos de las resistencias de calefacción tanto en distribución como en tipo de níquelina a emplearse, con el objetivo de mejorar la distribución de calor en la plancha y tener una mejor eficiencia energética.
- Para futuros trabajos se recomienda el uso de termostatos como sensor a fin de reducir el costo del proyecto, sin embargo, es necesario que no sea una prioridad para el cliente el monitoreo de forma visual de la temperatura.
- Debido a que el sistema varía de acuerdo con el número de planchas a ser utilizado y por la experiencia que el operador tiene con la máquina se recomienda para futuros trabajos investigación la posibilidad de implementar un Control Fuzzy para aplicar los conocimientos del usuario al sistema de control de la máquina.
- Es recomendable realizar la instalación de tierra desde el diseño de instrumentación y control para evitar lecturas con algún tipo de ruido y tener un mejor modelamiento de la planta.

## Referencias

- Arias, P. (2002). *Optimizar el proceso de planchado en la elaboración de sacos de fibras textiles mediante el diseño y construcción de un generador de vapor a gas a nivel industrial*. <http://repositorio.ute.edu.ec/xmlui/handle/123456789/5302>
- Balcells, J., & Romeral, J. L. (1997). *Autómatas programables* (Marcombo S).  
[https://books.google.com.ec/books?id=xfSjADge70C&pg=RA4-PT28&dq=tipos+de+sensores+de+temperatura&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiD4MT7\\_ZHuAhVth-AKHAD5AOgQ6AEwBXoECAYQAg#v=onepage&q=tipos de sensores de temperatura&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=xfSjADge70C&pg=RA4-PT28&dq=tipos+de+sensores+de+temperatura&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiD4MT7_ZHuAhVth-AKHAD5AOgQ6AEwBXoECAYQAg#v=onepage&q=tipos+de+sensores+de+temperatura&f=false)
- Bhag, S., & Hüseyin, R. (2003). *Máquinas Eléctricas y Transformadores* (E. Fernandez & S. López (eds.); 3a ed.). OXFORD University Press México S.A.
- Buitrón, H. (2000). *Introducción al control de motores* (2a ed.). Universidad Autónoma Metropolitana.
- Carrera, E. (2015). Caracterización de tejidos: Principales ensayos físicos para evaluar la calidad de los tejidos. *Caracterización de tejidos*, 238.
- Cengel, Y., & Afshin, G. (2011). *Transferencia de calor y masa* (McGraw-Hill (ed.); 4a ed.).  
<https://itscv.edu.ec/wp-content/uploads/2019/06/Transferencia-de-calor-y-masa.-Fundamentos-y-aplicaciones-Cuarta-Edición.pdf>
- Chapman, S. (2012). *Máquinas Eléctricas* (5a ed.). McGrawHill.
- Chicala, C. (2015). *Adquisición de datos: Medir para conocer y controlar* (C. Garay (ed.); 1a ed.). CENGAGE Learning. <https://www.bibliotechnia.com.mx/portal/visor/web/visor.php>
- Cisneros, P., Moreno, S., Yáñez, J., Freile-Granizo, J., Coba, A., Echeverría, J., Guerra, P., Jaramillo, H., Valdospinos, M., & Narváez, E. (1990). *SARANCE Instituto Otavaleño de Antropología*. [www.flacsoandes.edu.ec](http://www.flacsoandes.edu.ec)



- Comité Ejecutivo de la Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2013). *Norma ecuatoriana de construcción NEC capítulo 15 instalaciones electromecánicas.*
- Correo. (2017). *El anaco, la prenda que caracteriza a las mujeres indígenas.*  
<https://www.diariocorreo.com.ec/5064/portada/el-anaco-la-prenda-que-caracteriza-a-las-mujeres-indigenas>
- Cotacachi, Y. (2020). *Centro Turístico Otavalango.*  
<http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/6554>
- Cumbajin, A. L. (2021). *Desarrollo de un sistema de navegación basado en la plataforma Pioneer P3-DX para el transporte de materiales.*
- Egas, K. (2018). *Estudio de la Aculturación y su Impacto en la Actividad Turística de la Parroquia Miguel Egas, Cantón Otavalo.*
- El Comercio. (2016). *El atuendo de la mujer kichwa de Otavalo es elegante y costoso.*  
<https://www.elcomercio.com/tendencias/atuendo-mujer-kichwa-otavalo-elegancia.html>
- Enríquez, H. (2005). *Máquinas Eléctricas* (1a ed.). LIMUSA.
- Flores, D. (2011). *Elaboración de una guía didáctica virtual para los procesos de hilatura de fibras largas* [Universidad Técnica del Norte].  
[http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/730/4/04 IT 001 CAPITULO III.pdf](http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/730/4/04%20IT%20001%20CAPITULO%20III.pdf)
- García, R. (1999). *La puesta a tierra de instalaciones eléctricas* (Alfaomega (ed.)).
- Hurtado, A. (2019, enero 31). *Módulos de Expansión para Automatas Programables (PLC).*  
<https://www.eeymuc.co/modulos-de-expansion-para-plc/>
- JM Industrial Technology. (2021). *Controladores de temperatura.*  
<https://www.jmi.com.mx/controladores-de-temperatura>
- Korovkin, T. (2002). *Comunidades indígenas, economía del mercado y democracia en los andes ecuatorianos: Vol. I.*
- La Hora. (2017). *La tradición de confeccionar ropa indígena en Otavalo.*

<https://lahora.com.ec/noticia/1102020916/la-tradicion-de-confeccionar-ropa-indigena-en-otavalo>

LAFAYATTE. (2019). *¿Conoces los tipos de tejido existentes?*

<https://www.lafayette.com/conoces-los-tipos-de-tejido-existentes/>

Lockuán, F. (2013). *La industria textil y su control de calidad.*

[https://issuu.com/fidel\\_lockuan/docs/ii.\\_la\\_industria\\_textil\\_y\\_su\\_control\\_de\\_calidad/36](https://issuu.com/fidel_lockuan/docs/ii._la_industria_textil_y_su_control_de_calidad/36)

Miranda, J. A. (s/f). *Dispositivo para monitoreo de temperatura, humedad y pH en sistemas de lombricultura.* Recuperado el 6 de junio de 2021, de <https://silo.tips/download/dispositivo-para-monitoreo-de-temperatura-humedad-y-ph-en-sistemas-de-lombricult>

Molina, D., Cedeño, J., Marcillo, K., Marcillo, A., Ortiz, M., Mero, E., & Merchán, F. (2019). *Módulo con controladores lógicos programables para la enseñanza-aprendizaje de electrónica* (1a ed.). Área de innovación y desarrollo.

Parra, C., & Moreno, A. (2019). *Diseño e implementación de dos módulos educacionales, basados en dispositivos de maniobra y relé programable Logo.* Escuela Politécnica Nacional.

Pineda, L., & Jara, M. (2010). *Prospectiva y vigilancia tecnológica en la cadena fibra-textil-confecciones. Mapa tecnológico estratégico, nuevos escenarios para el futuro de la cadena productiva fibra textil confección de Colombia* (Editorial Universidad del Rosario (ed.)).

[https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=ZmaA7r4lfhIC&oi=fnd&pg=PA15&dq=Tipos+de+fibras+textiles&ots=WdsEtB5Egz&sig=DYhfbhygGalPn4v2GXdQrUtWKHU&redir\\_esc=y#v=onepage&q=Tipos de fibras textiles&f=false](https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=ZmaA7r4lfhIC&oi=fnd&pg=PA15&dq=Tipos+de+fibras+textiles&ots=WdsEtB5Egz&sig=DYhfbhygGalPn4v2GXdQrUtWKHU&redir_esc=y#v=onepage&q=Tipos de fibras textiles&f=false)

Polanía, J. (2011). *Control de Motores Eléctricos.*

Purtschert, N. (2014). *Módulo para calibración y análisis de características estáticas y dinámicas de sensores de temperatura.*

[http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/2800/1/04 MEC 036 TESIS.pdf](http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/2800/1/04_MEC_036_TESIS.pdf)

Quilumbaquin, T. (2016). *Diseño e Implementación de un Sistema de Humectación y Planchado en una Máquina Plisadora de Tela para Faldas Cayambeñas*.

[http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/5592/1/04 MEC 127 TRABAJO DE GRADO.pdf](http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/5592/1/04_MEC_127_TRABAJO_DE_GRADO.pdf)

RAE. (2019). *Fachalina*. <https://dle.rae.es/fachalina>

Rodríguez, M. (2017). *Arranque de motores asíncronos* (1a ed.). Universidad de Cantabria.

Roldán, J. (2002). *Motores Eléctricos Automatismos de Control* (O. Vicence (ed.); 9a ed.). Paraninfo S.A.

Sánchez, T. (2013). *Propiedades de las fibras textiles*.

[https://issuu.com/mayratsanchez/docs/propiedades\\_de\\_las\\_fibras](https://issuu.com/mayratsanchez/docs/propiedades_de_las_fibras)

Simbaña, N. (2011). Documental sobre la Vestimenta Andina de los Pueblos Otavalo y Puruhá.

*Tesis*, 1–100. <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5081/1/UPS-CYT00109.pdf>

Solbes, R. (2013). *Manuel de automatismos Industriales, Conceptos y procedimientos* (N. Libres (ed.); 1a ed.).

*Termopar Información Técnica - TC S.A.* (s/f). Recuperado el 10 de junio de 2021, de

<https://www.tc-sa.es/termopares-informacion/termopares-informacion-tecnica.html>

## Anexos