



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERIA EN ELÉCTRICO-MECÁNICA**

TEMA:

**Estudio y diseño de un sistema de control de temperatura mediante
variadores que optimizan la producción de envases de vidrio en la
compañía Cridesa**

AUTOR:

CARRILLO GALEAS, MIGUEL ÁNGEL

**Trabajo de titulación previo a la obtención del Título de
INGENIERO EN ELÉCTRICO-MECANICA CON MENCIÓN EN
GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL**

TUTOR:

Ing. Palau De la Rosa, Luis Ezequiel

**Guayaquil - Ecuador
2019**



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERIA EN ELÉCTRICO-MECÁNICA

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por **Carrillo Galeas, Miguel Ángel**, como requerimiento para la obtención del Título de **Ingeniería en Eléctrico-Mecánica**.

TUTOR (A)

f. _____
Ing. Palau De la Rosa, Luis Ezequiel

DIRECTOR DE LA CARRERA

f. _____
Ing. Heras Sánchez, Miguel Armando

Guayaquil, a los 14 días del mes de Marzo del año 2019



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERIA EN ELÉCTRICO-MECÁNICA**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, Carrillo Galeas, Miguel Ángel

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación, “**Estudio y diseño de un sistema de control de temperatura mediante variadores que optimizan la producción de envases de vidrio en la compañía Cridesa**”, previo a la obtención del Título de **Ingeniería en Eléctrico-Mecánica**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 14 días del mes de Marzo del año 2019

EL AUTOR

f. _____
Carrillo Galeas, Miguel Ángel



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERIA EN ELÉCTRICO-MECÁNICA

AUTORIZACIÓN

Yo, Carrillo Galeas, Miguel Ángel

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **“Estudio y diseño de un sistema de control de temperatura mediante variadores que optimizan la producción de envases de vidrio en la compañía Cridesa”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

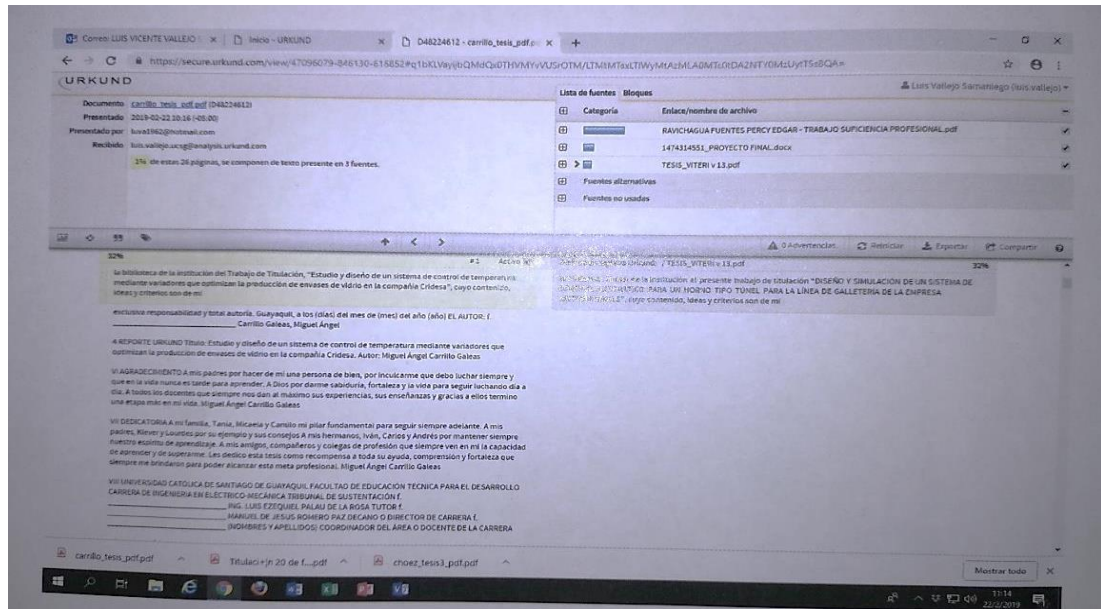
Guayaquil, a los 14 días del mes de Marzo del año 2019

EL AUTOR:

f. _____
Carrillo Galeas, Miguel Ángel

REPORTE URKUND

Título: Estudio y diseño de un sistema de control de temperatura mediante variadores que optimizan la producción de envases de vidrio en la compañía Cridesa.



CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por Carrillo Galeas Miguel Angel, se adjunta documento de reporte URKUND de la Revisión final en medio digital. Porcentaje de coincidencia final del 1% como requerimiento para la del Título de INGENIERO ELECTRICO – MECANICO.

TUTOR

Atentamente

Ing. Palau De la Rosa, Luis Ezequiel

AGRADECIMIENTO

A mis padres por hacer de mí una persona de bien, por inculcarme que debo luchar siempre y que en la vida nunca es tarde para aprender.

A Dios por darme sabiduría, fortaleza y la vida para seguir luchando día a día.

A todos los docentes que siempre nos dan al máximo sus experiencias, sus enseñanzas y gracias a ellos termino una etapa más en mi vida.

Miguel Ángel Carrillo Galeas

DEDICATORIA

A mi familia, Tania, Micaela y Camilo mi pilar fundamental para seguir siempre adelante.

A mis padres, Klever y Lourdes por su ejemplo y sus consejos

A mis hermanos, Iván, Carlos y Andrés por mantener siempre nuestro espíritu de aprendizaje.

A mis amigos, compañeros y colegas de profesión que siempre ven en mi la capacidad de aprender y de superarme.

Les dedico esta tesis como recompensa a toda su ayuda, comprensión y fortaleza que siempre me brindaron para poder alcanzar esta meta profesional.

Miguel Ángel Carrillo Galeas



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERIA EN ELÉCTRICO-MECÁNICA

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

ING. MANUEL DE JESUS ROMERO PAZ
DECANO

f. _____

ING. ORLANDO PHILCO ASQUI
COORDINADOR DE TITULACIÓN

f. _____

ING. NINO VEGA URETA
OPONENTE

ÍNDICE

CAPÍTULO 1	2
INTRODUCCIÓN	2
1.1 Antecedentes de la empresa.....	2
1.2 Misión.....	3
1.3 Visión	4
1.4 Planteamiento del problema	4
1.5 Justificación.....	4
1.6 Objetivos	5
1.6.1 Objetivo general.....	5
1.6.2 Objetivos específicos	5
1.7 Tipo de investigación	5
1.8 Metodología.....	5
PARTE I MARCO TEÓRICO.....	6
CAPÍTULO 2.....	6
CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ACONDICIONADOR	6
2.1 Acondicionador de envases de vidrio.....	7
a) Principales características del acondicionador	7
b) Tipos de acondicionadores	8
2.2 Componentes de un Acondicionador.....	9
a) Puerta de entrada.....	9
b) Túnel.....	10
c) Ventiladores de Recirculación	10
d) Controlador Digital de Temperatura	12
e) Quemadores de Gas y Quemadores de Diésel	13
f) Termocupla Tipo K.....	15
g) Ventiladores de Enfriamiento.....	16
h) Malla Transportadora	17
i) Configuración de flujos de Aire	18

CAPITULO 3	19
CONSIDERACIONES PARA EL SISTEMA DE CONTROL	19
3.1 Controlador Lógico Programable	19
3.2 Variadores de Frecuencia	21
3.3 Sensores Inductivos	24
PARTE II APORTACIONES	25
CAPITULO 4	25
LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN Y MEDICIÓN DE DATOS	25
4.1 Proceso de toma de datos	25
4.2 Información de cargas del acondicionador	29
4.3 Mapa de flujo del proceso	32
CAPITULO 5	33
DISEÑO DE AUTOMATIZACIÓN	33
5.1 Condiciones actuales	33
a) Control de ventiladores de recirculación	34
b) Control en cambios de referencia	34
c) Control de malla	34
d) Control por PLC	34
5.2 Sistemas automatizados	35
CAPITULO 6	38
PROGRAMACION DE EQUIPOS	38
6.1 Variador de frecuencia	38
6.2 Programa de control de malla	39
6.3 Programa de control de ventiladores	40
6.4 Programa de control de quemadores	41
6.5 Programación del Controlador de Temperatura	42
6.6 Programación del PLC Logo Soft	43
CAPITULO 7	44
ESTUDIO ECONÓMICO	44
7.1 Presupuesto	44
7.2 Consumo actual de energía y de combustibles	45
7.3 Beneficios obtenidos con el nuevo sistema	47

CAPITULO 8.....	49
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	49
8.1 Conclusiones	49
8.2 Recomendaciones	50
ANEXOS	51
Diagramas eléctricos	51
Tablas	51
BIBLIOGRAFÍA	71
GLOSARIO	73

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1	Características de diseño para acondicionadores	8
Tabla 2.2.d	Indicadores en los Controladores	13
Tabla 2.2.e2	Datos técnicos quemadores a gas	14
Tabla 2.2.e3	Datos técnicos quemadores a diésel	15
Tabla 4.2.1	Valores nominales de placa.....	29
Tabla 4.2.2	Valores total de carga de los componentes del Acondicionador	30
Tabla 4.2.3	Datos Eléctricos para Variadores Danfoss.....	31
Tabla 4.2.4	Datos Eléctricos para Variadores Danfoss.....	31
Tabla 4.4.1	Presupuesto del sistema	44
Tabla 7.2	Rubro por energía y combustibles	45
Tabla 7.2.1	Rubro por energía.....	45
Tabla 7.2.2	Rubro por diésel	46
Tabla 7.2.3	Rubro por GLP.....	46
Tabla 7.2.4	Rubro por GLP.....	46
Tabla 7.2.5	Rubro por GLP	47
Tabla 7.3	Beneficios de Sistema de Control mediante Variadores	47

INDICE DE FIGURAS

Figuras 1.1	Principales envases de vidrio	3
Figuras 2	Partes de un acondicionador de envases de vidrio	6
Figuras 2.1	Acondicionador de envases de vidrio	7
Figuras 2.2	Componentes del acondicionador	9
Figuras 2.2.a	Puerta de entrada del Acondicionador.....	9
Figuras 2.2.b	Componentes del túnel del acondicionador	10
Figuras 2.2.c1	Sistema de recirculación de aire	11
Figuras 2.2.c2	Partes de un recirculador	11
Figuras 2.2.d	Controlador Digital de temperatura Eurotherm	12
Figuras 2.2.e1	Quemador de Gas y Quemador de Diésel	13
Figuras 2.2.e2	Quemadores a gas Antonini y quemadores a diésel Euro 9	14
Figuras 2.2.f	Termocupla tipo k.....	16
Figuras 2.2.g	Ventiladores de enfriamiento	17
Figuras 2.2.h	Posicionamiento del rodillo principal de la malla.....	18
Figuras 3.1.a	Arquitectura básica de un PLC.....	20
Figuras 3.1.b	PLC Siemens Logo	21
Figuras 3.2	Variador Danfoss FC301.....	23
Figuras 3.3	Sensor inductivo.....	24
Figuras 4.1.a	Consumo energético del acondicionador del año 2018.....	25
Figuras 4.1.b	Consumo mensual de diésel del acondicionador	26
Figuras 4.1.c	Consumo Anual de diésel del acondicionador	26
Figuras 4.1.d	Consumo mensual de GLP del acondicionador	27
Figuras 4.1.e	Consumo Anual de GLP del acondicionador	27
Figuras 4.1.f	Consumo mensual de GNL del acondicionador	28
Figuras 4.1.g	Consumo Anual de GNL del acondicionador	28
Figuras 4.3	Mapa de flujo del Proceso.....	32
Figuras 5.1	Esquema de control de un quemador	36
Figuras 5.2	Esquema de control para otras partes del Acondicionador	37
Figuras 6.1	Menú de Programación de variador Danfoss FC301	38
Figuras 6.2	Programa del control de malla en el PLC Logo.....	40
Figuras 6.3	Programa del control de ventiladores en el PLC Logo	41
Figuras 6.4	Programación de quemadores y sistema de control por PLC.....	42
Figuras 6.6	Modo de Programación del PLC Logo	43

RESUMEN

El Acondicionador de envases de vidrio con el paso del tiempo pierde eficiencia aumentando el consumo de energía y combustible necesario para mantener la temperatura en cada periodo de trabajo; esto produce defectos críticos que afectan la productividad y calidad del producto final. El principal objetivo es optimizar el acondicionador de envases de vidrio mediante un diseño de control de temperatura por medio de variadores, el cual se ejecutara en varias etapas comenzando por la recopilación de información de las condiciones actuales de funcionamiento, seguido por el diseño de la estructura de control y finaliza con el cálculo de los elementos que repotencian el sistema eléctrico. La metodología de investigación que se utiliza es documental, descriptiva, experimental y aplicada. Asimismo, se realizara un análisis económico que consiste en una aproximación del consumo eléctrico en el acondicionador para estimar el tiempo de recuperación de la inversión y determinar las ventajas de la optimización. Finalmente, con un adecuado análisis de las variables se espera lograr que la optimización del sistema ayude a mejorar la vida útil del equipo y cumplir los requerimientos de eficiencia, productividad y calidad del producto final exigido por el cliente.

Palabras Claves: Acondicionador de envases de vidrio, Ventiladores de recirculación, Variadores de Frecuencia, Controladores de temperatura, Quemadores, Controlador lógico programable (PLC), Sensor Inductivo.

ABSTRACT

The conditioner of glass containers with the passage of time loses efficiency increasing the consumption of energy and fuel necessary to maintain the temperature in each period of work; this produces critical defects that affect the productivity and quality of the final product. The main objective is to optimize the glass container conditioner by means of a temperature control design by means of inverters, which will be executed in several stages starting from the collection of information of the current operating conditions, followed by the design of the structure of control and ends with the calculation of the elements that repower the electrical system. The research methodology used is documentary, descriptive, experimental and applicative. Likewise, an economic analysis will be carried out that consists of an approximation of the electrical consumption in the conditioner to estimate the recovery time of the investment and determine the advantages of the optimization. Finally, with an adequate analysis of the variables, it is expected that the optimization of the system will help to improve the useful life of the equipment and meet the requirements of efficiency, productivity and quality of the final product demanded by the customer.

Keywords: Glass Container Conditioner, Recirculation Fans, Variable Frequency Drives, Temperature Controllers, Burners, Programmable Logic Controller (PLC), Inductive Sensor.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes de la empresa

Cristalería del Ecuador S.A. es una fábrica situada en la ciudad de Guayaquil en el Km. 22.5 Vía Perimetral, es una industria dedicada a la fabricación de envases de vidrio de diferentes formas y tamaños. Fue constituida en el año de 1965 y en 1978, Owens – Illinois, fabricante líder en Latinoamérica y segunda mayor en Europa, adquirió un porcentaje mayoritario de acciones de la compañía.

Actualmente es una multinacional que cuenta con el respaldo y soporte técnico del personal calificado de Owens – Illinois, en programas de capacitación y actualización, tanto en las áreas de producción, como en las administrativas. Atiende el mercado local de las embotelladoras, cervecerías, destilerías, conserveras y laboratorios farmacéuticos y además exporta a Estados Unidos y Centroamérica.

La empresa tiene un sistema que involucra algunas áreas y como el proceso de elaboración del vidrio es continuo la calidad depende en gran medida de la correcta fusión entre las áreas. La fábrica cuenta con un horno para fundición de la materia prima, cuatro máquinas de formación, cuatro acondicionadores de vidrio uno por máquina, una máquina decoradora y un acondicionador de decoración. Las áreas que conforman el proceso de elaboración del vidrio son:

- a) Materia prima
- b) Hornos
- c) Fabricación del envase
- d) Acondicionador de envases
- e) Inspección
- f) Producto terminado

La actividad principal de CRIDESA S.A, es la manufactura de envases de vidrio, de diferentes gamas de diseños de la figura 1.1. Entre los principales envases de vidrio, que produce la empresa, se cuentan las siguientes:



Figuras 1.1 Principales envases de vidrio

Fuente: Autor

- Envase para bebidas: El vidrio debido a su impermeabilidad, no permite el escape de gas en las bebidas carbonatadas, reteniendo el aroma y sabor original con el que fueron envasados. Es utilizada como empaque ideal para las bebidas de moderación como la cerveza, impidiendo la aceleración del proceso de fermentación y la alteración del sabor.
- Envase para alimentos: El vidrio, conserva la pureza y condiciones originales de los alimentos. Su transparencia está acorde a la observación de su contenido, su facilidad de apertura y cierre son beneficios que agregan valor y son bien vistos por el cliente.
- Envase para farmacéuticos: Hermeticidad y propiedades higiénicas son preferidas por las manufactureras de productos farmacéuticos, garantizando la pureza de la composición de las medicinas, permaneciendo intacta.

1.2 Misión

“Liderar nuestra industria en innovación, rentabilidad y crecimiento sostenido, transformarnos en una empresa de crecimiento global, vibrante, moderna y de alta intensidad. Ser un ganador en el mercado y con la sociedad a través de la competitividad y del enfoque de un negocio con altos valores éticos”.

1.3 Visión

“Llegar a ser la compañía de envases líder a nivel mundial logrando un crecimiento consistente y sostenido, ofreciendo productos de consumo preferidos, que permitan a nuestros clientes contar con productos de sabor superior, saludable, de apariencia atractiva y beneficios de valor”.

1.4 Planteamiento del problema

Los envases de vidrio en su proceso de elaboración originan tensiones internas debido a la disminución brusca de la temperatura durante el proceso de formación, para darle el temple exigido y permitir que las tensiones de los envases sean eliminadas dichos envases son pasados a través del acondicionador de vidrio y sometidos a un proceso controlado hasta llegar a una temperatura adecuada para el manejo en el área de inspección.

El Acondicionador de envases de vidrio con el paso del tiempo pierde eficiencia aumentando el consumo de energía y combustible necesario para mantener la temperatura en cada periodo de trabajo, esto produce defectos críticos que afectan la productividad y calidad del producto final, generando pérdidas económicas que afectan las utilidades de la empresa.

1.5 Justificación

El Acondicionador de envases de vidrio es un equipo que regula la temperatura de los envases mediante un proceso controlado que involucra transferencia de calor del vidrio, ventiladores de recirculación y quemadores. El consumo de energía y combustible del equipo son factores relacionados los cuales al complementarse mejoran la vida útil del equipo, la combustión de quemadores, el desgastes estructural, y su operación en general.

El propósito del diseño de un sistema de control de temperatura mediante variadores es optimizar el desempeño del archa de acondicionamiento de envases de vidrio, y principalmente aumentar el ahorro de energía y combustibles mientras se alcanza un proceso controlado de funcionamiento, cumpliendo los requerimientos de eficiencia, productividad y calidad del producto final exigido por el cliente.

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo general

Diseñar el sistema de control de temperatura mediante variadores para mejorar la eficiencia del acondicionador de vidrio.

1.6.2 Objetivos específicos

- Recopilar y analizar datos técnicos de los elementos del acondicionador de envases de vidrio.
- Diseñar la estructura de control eléctrico de cada sistema.
- Calcular y repotenciar elementos el tablero de control eléctrico.
- Evaluar el desempeño y eficiencia del equipo.

1.7 Tipo de investigación

El presente trabajo de investigación y diseño está basado principalmente en el tipo experimental-teórico con enfoque documental y analítico por lo cual se hará uso de técnicas de investigación cualitativa y cuantitativa, descriptivas y de campo laboral lo cual es totalmente factible para cumplir con lo requerido por este proyecto.

1.8 Metodología

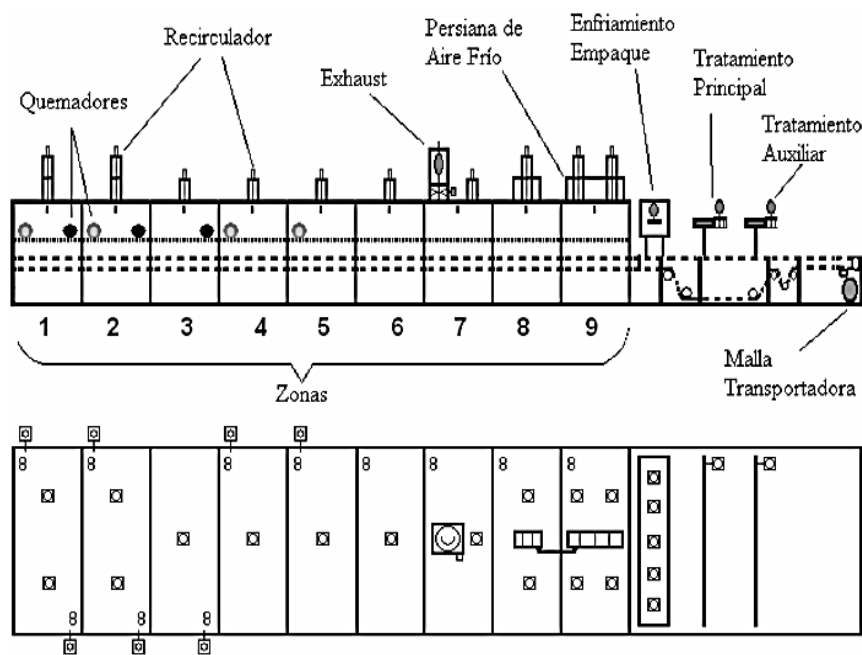
La metodología de investigación es de tipo analítica documental y experimental y está relacionada directamente con el análisis de la eficiencia energética en las archas o acondicionadores de temperatura de envases de vidrio, la misma que se puede sustentar con un correcto cálculo y diseño de las instalaciones eléctricas, garantizando así la reducción del consumo mediante el uso eficiente de los equipos.

PARTE I MARCO TEÓRICO

CAPÍTULO 2

CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ACONDICIONADOR

En Cridesa, el horno acondicionador de envases es un equipo que se utiliza en el procesamiento del vidrio, para la reducción de las tensiones superficiales en una gran gama de productos. En la figura 2 se muestra un esquema detallado de las partes constitutivas de un acondicionador de envases de vidrio, se observan también las zonas que lo componen, donde se realiza el tratamiento térmico y las áreas de enfriamiento, empaque y tratamientos superficiales a la salida. (Valecillos B., 2007)



Figuras 2 Partes de un acondicionador de envases de vidrio

Fuente: **Owens-Illinois de Ecuador**

A continuación se procederá en detalle a describir las partes y características del acondicionador de envases, así como su funcionamiento interno.

2.1 Acondicionador de envases de vidrio

Es un horno para envases de vidrio de 36 m. de largo por 3 m. de ancho. Un acondicionador de envases de vidrio es una parte del proceso de manufactura de vidrio para empaque, decorativo, refractario y de otros tipos de vidrio. Un acondicionador de vidrio asegura la curva de temperatura controlada de los envases de vidrio que elimina la tensión interna del material.

Está equipada con un sistema de calentamiento directo de quemadores uno de gas y otro de diésel, el cual es controlado de forma proporcional mediante un lazo cerrado que lo conforman el quemador la termocupla y el controlador de temperatura. La figura 2.1 muestra la estructura de un acondicionador a temperatura ambiente para formación de envases de vidrio. (Owens-Illinois Venezuela, 2009)



Figuras 2.1 *Acondicionador de envases de vidrio*
Fuente: *Autor*

a) Principales características del acondicionador

Las principales características de diseño y construcción para acondicionadores de envases de vidrio se enlistan en la tabla 2.1.

Tabla: 2.1 *Características de diseño para acondicionadores*

Variable	Cantidad	Unidad
Longitud Total del Archa	36	m
Longitud del Túnel de Recocido	31	m
Altura de la antorcha de combustión	0.5	m
Ancho de la malla transportadora	4	m
Potencia de Combustión Instalada	940	Kw.
Potencia Eléctrica Instalada	37.5	Kw.

Fuente: (Owens-Illinois Venezuela, 2009)

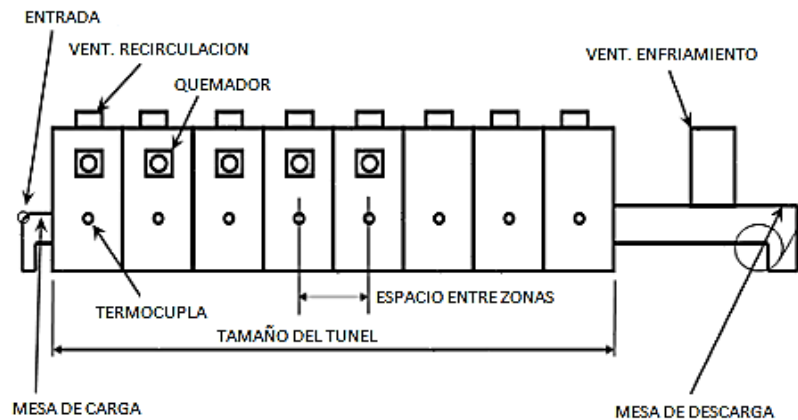
b) Tipos de acondicionadores

- Archas de Recocido: con un ancho de banda transportadora de hasta 5.5 m.
- Archas de Decoración: con un ancho de banda transportadora de hasta 3m. Las archas de decoración tienen además la zona de precalentamiento con evacuación de solventes y medios de oxigenación para las tintas sin plomo.

A medida que los envases son transportados por la malla a través del acondicionador los ventiladores ubicados en la parte superior de cada módulo transfieren eficientemente el calor por recirculación a los envases incrementando su temperatura en los primeros módulos, en general la temperatura va disminuyendo a medida que los envases se van desplazando de modulo a modulo hasta llegar a temperatura ambiente a la salida del acondicionador. La malla transportadora lleva los envases desde el ingreso del acondicionador hacia el final del proceso a una velocidad constante. (Owens-Illinois Venezuela, 2009)

2.2 Componentes de un Acondicionador

El acondicionador a temperatura ambiente se divide en secciones individuales. Cada sección provee una zona de establecimiento de calor y el túnel está formado necesariamente por un número determinado de estas zonas, cada una de 2,25 m. de largo. La figura 2.2 indica los componentes más importantes que forman parte del sistema de un acondicionador.



Figuras 2.2 Componentes del acondicionador
Fuente: (Owens-Illinois Ecuador, 2010)

a) Puerta de entrada

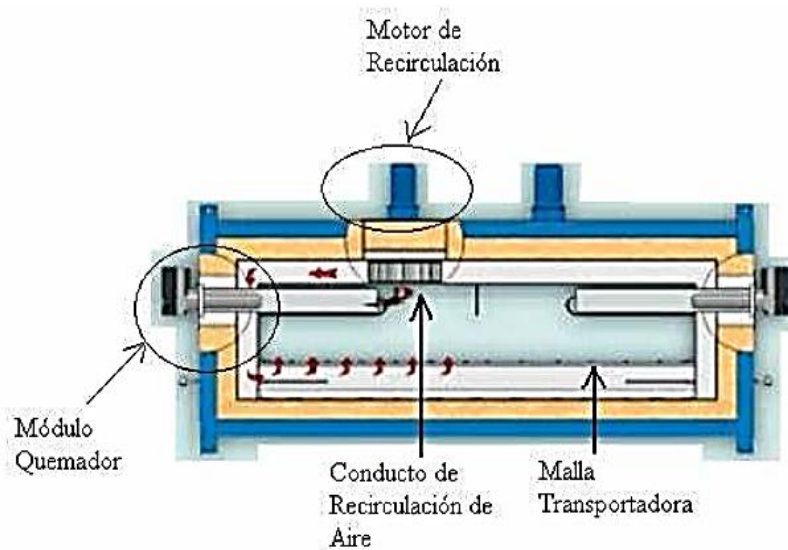
La puerta de entrada regula la altura de entrada de envases, en el cuadro de la puerta hay un rodamiento ajustable con una cubierta, el cual previene la entrada de aire frío desde el exterior hacia el túnel. Este mecanismo se aprecia en la figura 2.2.a. (Owens-Illinois Venezuela, 2009)



Figuras 2.2.a Puerta de entrada del Acondicionador
Fuente: Autor

b) Túnel

El túnel de tratamiento se divide en secciones individuales. Cada sección provee una zona de establecimiento de calor y el túnel de tratamiento de calor está formado necesariamente por un número determinado de estas zonas, cada una de 2,25 m. de largo. La figura 2.2.b indica los elementos más importantes de una sección de calentamiento de una acondicionador. (Owens-Illinois Venezuela, 2009)



Figuras 2.2.b Componentes del túnel del acondicionador
Fuente: (Owens-Illinois Venezuela, 2009)

c) Ventiladores de Recirculación

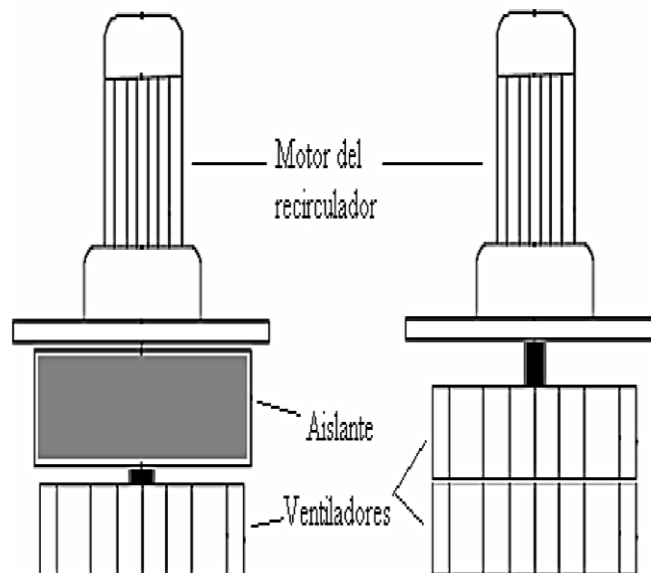
Son parte esencial del funcionamiento del acondicionador de envases, su función es aumentar o disminuir la temperatura dentro de la zona en que se encuentra y a su vez transferir el calor a los envases en movimiento sobre la malla transportadora. El aire proveniente de la malla del acondicionador, es absorbido por un ventilador de recirculación ubicado en el techo de cada sección.

Cada zona está equipada con un sistema aislado de recirculación de aire, comandado por un ventilador de que se muestra en la figura 2.2.c1, el cual está conformado por un impeler y un motor AC de 3 Hp. (Mora, 2003)



Figuras 2.2.c1 Sistema de recirculación de aire
Fuente: **Autor**

El motor del recirculador posee un eje largo acoplado a un ventilador en su extremo. El ventilador está ubicado en la parte interior- superior del Horno de Recocido y está diseñado para resistir elevadas temperaturas (650 ° C). Algunos motores de recirculación como el de la figura 2.2.c2 poseen un aislante de fibra de vidrio para evitar daños ocasionados al motor por altas temperaturas existentes dentro del horno. (**Valecillos B., 2007**)



Figuras 2.2.c2 Partes de un recirculador
Fuente: (**Valecillos B., 2007**)

d) Controlador Digital de Temperatura

Los paneles de los acondicionadores cuentan con controladores para cada una de las zonas; las temperaturas de uno de los lados del acondicionador actúan como variables de control y es respecto a ellas que funciona el sistema de encendido de los quemadores. A las temperaturas del otro lado del archa se les hace seguimiento mediante un solo display cuya visualización se manipula mediante una perilla. De esta forma en los paneles se puede hacer un chequeo general de temperaturas en todas las zonas. (Monsalve, 2005)

El proceso de calentamiento se controla a través de un controlador digital de temperatura marca Eurotherm modelo P108 que recibe la señal de temperatura dentro del rango comprendido entre 0 y 1000 °C proveniente de una termocupla tipo K y controla de esta forma el proceso de combustión en cada zona del acondicionador de vidrio. En la figura 2.2.d, se muestra el controlador y su setpoint de temperatura.



Figuras 2.2. d *Controlador Digital de temperatura Eurotherm*
Fuente: *Autor*

En la tabla 2.2.d, se muestra lo que cada uno de los controladores tiene para visualización directa de los indicadores. En adición a los indicadores que se mencionan en la parte superior tenemos la variable y en la parte inferior tenemos el set point. (Monsalve, 2005)

Tabla 2.2.d *Indicadores en los Controladores*

Indicador	Definición
ALM 12	Existencia de Alarma 1 o 2
SP	Set Points
PV	Visualización de la Variable de Proceso
A o MAN	Indica el modo del controlador (A = Automático, MAN = Manual)
F o C	Indica las unidades de la variable de Proceso (F = Fahrenheit, C = Celsius)

Fuente: (Monsalve, 2005)

e) Quemadores de Gas y Quemadores de Diésel

La función principal de los quemadores es suministrar calor dentro de cada módulo. Este equipo trabaja directamente con el setpoint de temperatura que se da a cada módulo en la curva de recocido.

Los quemadores instalados en el acondicionador de vidrio son de dos tipos y se muestran en la figura 2.2.e1:

- Quemadores a gas GLP
- Quemadores a diésel



Figuras 2.2.e1 *Quemador de Gas y Quemador de Diésel*

Fuente: **Autor**

El calentamiento de cada zona está provisto por quemadores automáticos de gas marca Antonini y quemadores automáticos de diésel marca Euro modelo 9. El calentamiento también es controlado por el lazo de control que involucra a la termocupla tipo K y al controlador Eurotherm. En la figura 2.2.e2 se muestran los quemadores a gas Antonini en la parte superior y los quemadores a Diésel Euro 9 en la parte inferior del acondicionador. (Antonini, 2010)



Figuras 2.2.e2 Quemadores a gas Antonini y quemadores a diésel Euro 9
Fuente: Autor

Los quemadores a gas instalados a cada lado del módulo en la parte superior tienen las características que se presentan en la tabla 2.2.e2:

Tabla 2.2.e2 Datos técnicos quemadores a gas

Datos técnicos					
Modelo		BR1T1F	BR2T2F	BR3T2F	BR4T2F
Capacidad	Stm ³ /h	~2.4	~4.8	~7.2	~9.6
Operación		1 paso	2 pasos		
Potencia eléctrica instalada	VA	~30	~50		
Conexión eléctrica		Toma multipolar - 6 polos + tierra IP54			
Alimentación eléctrica	V/Hz	~230/50-60			
Conexión de gas		3/8" macho			
Combustible		Gas natural o LPG			
Presión de gas	mbar	500			
Diámetro tobera estándar	mm	Ø1.5 (default) - Ø2.0 (repuesto)			
Grado de protección	IP	30			
Compatibilidad electromagnética		Conforme con EEC 89/336			

Fuente: (Antonini, 2010)

Los quemadores a diésel instalados a cada lado del módulo en la parte inferior tienen las características que se muestran en la tabla 2.2.e3:

Tabla 2.2.e3 *Datos técnicos quemadores a diésel*

Datos Técnicos		
Modelo	Antonini	Euro 9
Capacidad	gl/h	5.5 gl/h
Operación		1 paso
Potencia eléctrica instalada	VA	100
Conexión Eléctrica		Toma Multipolar 2 líneas + tierra
Alimentación Eléctrica	V/Hz	230 v/ 60 Hz
Combustible		Diésel
Diámetro tobera estándar	mm	4.5 a 5.5

Fuente: (Antonini, 2010)

f) **Termocupla Tipo K**

En un acondicionador de vidrio, los sensores que registran la temperatura del módulo y generan una señal a los instrumentos de control, son las termocuplas o termopares, los cuales están ubicados en la parte lateral del acondicionador y nos proporcionan la lectura a la que está trabajando cada módulo. Están conformados por dos metales diferentes, A y B, unidos en un terminal (unión), que produce un voltaje termoeléctrico pequeño (del orden de los mili- voltios) cuando es calentada. (Valecillos B., 2007)

Los dos materiales que son utilizados para formar una termocupla deben tener unos requerimientos mínimos como son:

- La f.e.m (fuerza electromotriz) generada por cada grado centígrado de variación de temperatura, sensibilidad térmica, debe ser lo más elevada posible.
- El rango de temperatura a medirse a lo más alto posible.

En la tabla del Anexo 9 que describen los tipos de Termocuplas, se muestran los diferentes tipos de termopares y su rango de temperatura. La figura 2.2.f nos muestra el diseño de una termocupla tipo K utilizada en los acondicionadores de vidrio.



Figuras 2.2.f *Termocupla tipo k*
Fuente: *Autor*

Las termocuplas de los acondicionadores de vidrio son del tipo K debido a que las temperaturas del horno deben llegar a los 1000°C. Estas termocuplas trabajan a un rango de operación entre los -270°C a 1200°C. Las termocuplas K están hechas con cromel (cromo- aluminio) y alumel (aluminio-nickel) ambos de color plateado brillante pero el alumel es levemente magnético por su contenido de nickel. En un sistema de control se debe asegurar una lectura correcta de la termocupla, si no es así, se debe realizar los ajustes en el controlador constantemente. (Cardenas , 2001)

g) Ventiladores de Enfriamiento

Los ventiladores de enfriamiento están diseñados especialmente para hornos de recocido que funcionan bajo condiciones de elevada temperatura y bajo mantenimiento. El ventilador a usar en el sistema depende de las dimensiones del horno y la capacidad de enfriamiento requerida. Los ventiladores están constituidos por un motor principal el cual se encuentra en la parte central del cilindro, está rodeado de una capa protectora de fibra de vidrio para aislarlo del calor existente dentro del horno y así prevenir daños ocasionado por el mismo. (Ogata, 2010)

El eje del motor se encuentra acoplado a un ventilador axial, el cual impulsa el aire fuera del horno a través de unas rejillas. La apertura de las rejillas se controla mediante la acción de un actuador o servo motor, el cual trabaja en forma automática o manual. La figura 2.2.g nos muestra los ventiladores de enfriamiento en el acondicionador. (Valecillos B., 2007)



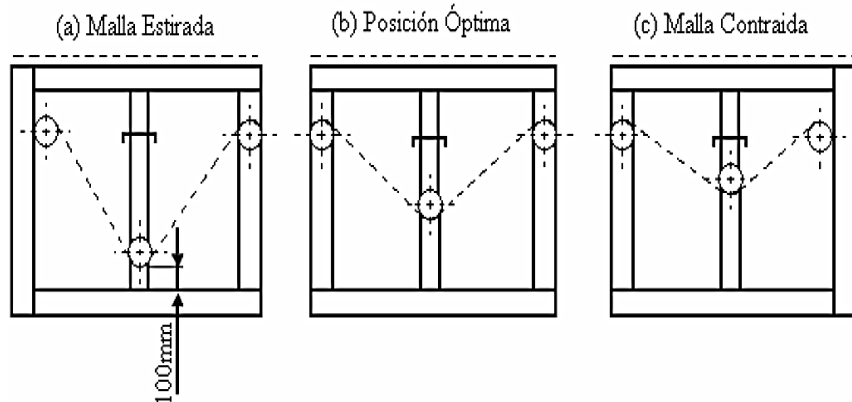
Figuras 2.2.g. Ventiladores de enfriamiento
Fuente: *Autor*

h) Malla Transportadora

El mecanismo de transporte de los envases a través del Horno de Recocido está constituido por una malla, la cual es desplazada por unos rodillos que están acopladas en un motor mediante un sistema de tracción a cadena. La malla se desplaza a una velocidad constante, la cual depende del tipo de envase que ingresa al acondicionador. El mecanismo de transporte de la malla puede variar su aceleración ya que la velocidad de la malla influye en el temple del envase. (Pennekamp, 2005)

En condiciones de funcionamiento normal el horno eleva la temperatura de la malla, lo cual causa un estiramiento en ella que se ve reflejado en el descenso del rodillo que está encargado de graduar la tensión de la malla. Si el estiramiento es tal que, la distancia al suelo es menor que 100 milímetros, la malla debe recortarse. Por otro lado, si por alguna razón la temperatura del horno desciende, la malla se enfriará y se contraerá lo cual ocasionará que el rodillo de graduación suba más de lo recomendado, causando desgaste del rodillo. (Valecillos B., 2007)

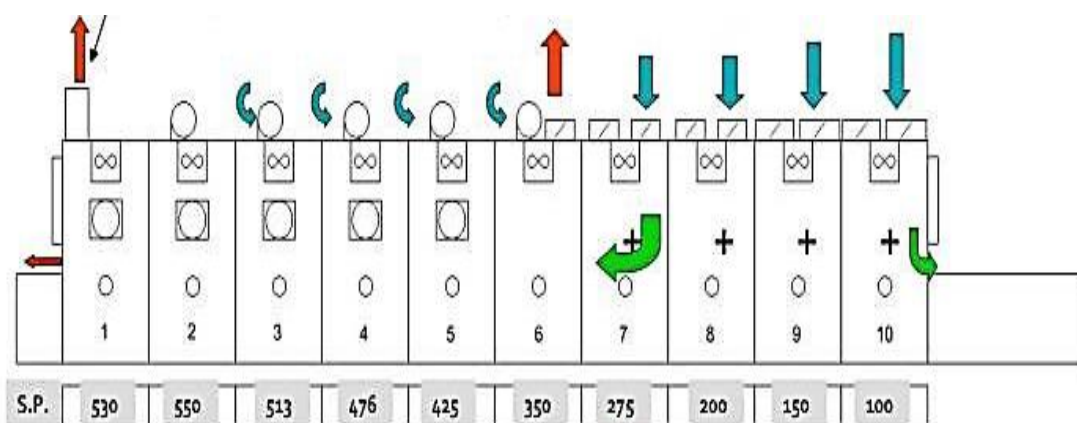
Las condiciones de funcionamiento óptimo del sistema de transporte están representadas en la figura 2.2.h.



Figuras 2.2.h Posicionamiento del rodillo principal de la malla
Fuente: (Valecillos B., 2007)

i) Configuración de flujos de Aire

Para lograr eficiencia energética se recomienda que el flujo de aire a través del archa se establezca de manera frontal. Esto significa que el aire se mueva en dirección opuesta al movimiento de los envases: el aire ambiental entra por el extremo de descarga del archa y se mueve hacia el extremo de carga. La figura 2.2.i nos muestra el flujo de aire en el acondicionador. (Owens-Illinois Ecuador, 2010)



Figuras 2.2.i Flujo de aire en el acondicionador
Fuente: (Owens-Illinois Ecuador, 2010)

CAPITULO 3

CONSIDERACIONES PARA EL SISTEMA DE CONTROL

Los elementos citados en este capítulo se integraran al lazo de control para modificar el acondicionador al nuevo sistema de control de temperatura mediante variadores del acondicionador de vidrio.

3.1 Controlador Lógico Programable

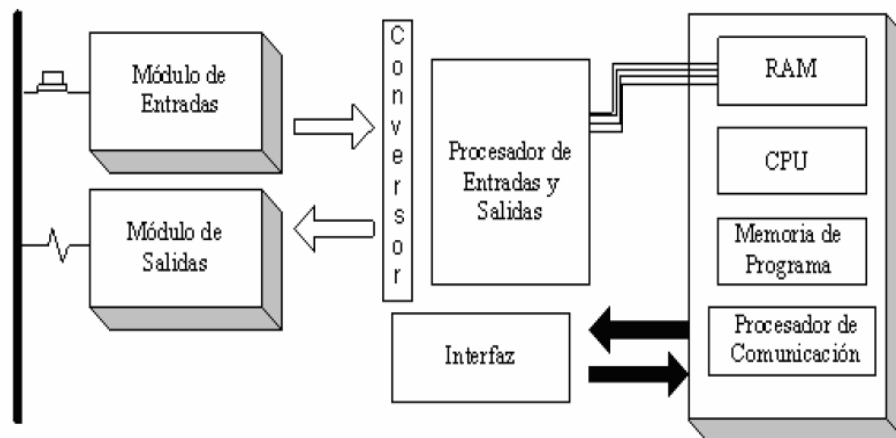
Un controlador lógico programable, (PLC por sus siglas en inglés, “programmable logic controller”) se puede definir como un equipo electrónico el cual realiza la ejecución de un programa en tiempo real, de forma cíclica, realizando el control de una gran variedad de procesos. En la industria surgió como reemplazo de la lógica construida con relés electromecánicos, siendo fabricado para los más adversos ambientes industriales.

La ejecución del programa interno de un PLC puede ser interrumpido momentáneamente para realizar otras tareas consideradas prioritarias, pero el aspecto más importante es la garantía de ejecución completa del programa principal. El fin de dicha ejecución es provocar el cambio de las variables tratadas. Este cambio sobre las variables se realiza antes, durante y al final del programa. Antes del programa se realiza la lectura de las “entradas” (inicio del ciclo), al final se realiza la escritura de las “salidas” (fin de ciclo y enlace con el inicio). Durante la ejecución del programa se realiza la lectura y/o escritura de las variables internas según el contexto programado. (Owens-Illinois Venezuela, 2009)

La arquitectura interna del controlador de un PLC está formado principalmente por una unidad central de procesamiento (CPU por sus siglas en inglés “Central Process Unit”) encargada de resolver un programa residente en la memoria de acceso aleatorio (RAM por sus siglas en inglés “Random Access Memory”), conjuntos de entradas que sensan señales y salidas que accionan respectivamente diversos dispositivos de campo.

Las entradas y salidas son terminales en las cuales se hacen presentes niveles de tensión o corriente que varían de manera discreta o continua en el tiempo y representan diferentes estados.

El programa residente en la memoria es resultado por la CPU tomando como “variables de entrada al programa” las entradas de campo que sensan el estado de diferentes dispositivos (finales de carrera, pulsadores, valores de temperatura, presión, entre otros). La CPU como resultado de la interacción de la resolución del programa con los valores de entradas, que a través de las salidas de campo accionan diversos equipos (bobinas de contactores, válvulas, etc.). En la figura 3.1.a se puede observar la arquitectura básica de un PLC. La función que cumple cada uno de los bloques del diagrama se describe a continuación:



Figuras 3.1.a *Arquitectura básica de un PLC*
Fuente: (Owens-Illinois Venezuela, 2009)

El Controlador Lógico programable que se utilizaría es un micro PLC de Marca Siemens modelo Logo que se muestra en la figura 3.1.b, posee características específicas como su tamaño compacto. Cualquiera de sus modelos, permiten ser alojados en cualquier armario o caja con rail Din normalizado. Por lo tanto son ideales para solucionar pequeños problemas de automatismos en instalaciones domésticas o industriales donde un PLC más sofisticado puede parecer un exceso.

Este PLC cuenta con un software gratuito brindado por Siemens, el cual permite tanto realizar la programación como hacer una simulación del programa. (Owens-Illinois Venezuela, 2009)

Debido a la variedad de usos de este producto el responsable de la automatización debe asegurarse de seleccionar el PLC que cumpla con todos los requerimientos del diseño. Hay muchos aspectos a tener en cuenta a la hora de seleccionar un control lógico programable, uno de los más importantes es conocer el número de entradas y/o salidas requeridas para el diseño, si se va a usar solo entradas digitales o también entradas analógicas, el voltaje de alimentación requerido.



Figuras 3.1.b *PLC Siemens Logo*
Fuente: *Autor*

Para ello debemos conocer exhaustivamente el funcionamiento del sistema a ser automatizado y en base a ello, analizar cuáles de las variables que se tienen puede ser considerada para ser utilizadas como entradas o salidas del controlador y si va a ser necesario usar una extensión para obtener más entradas y salidas.

3.2 Variadores de Frecuencia

Un variador de frecuencia (siglas VFD, del inglés: Variable Frequency Drive o bien AFD Ajustable Frequency Drive) es un sistema para el control de la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna (AC) por medio del control de la frecuencia de alimentación suministrada al motor.

Un variador de frecuencia es un caso especial de un variador de velocidad. Los variadores de frecuencia son también conocidos como drivers de frecuencia ajustable (AFD), drivers de CA, o inversores. Dado que el voltaje es variado a la vez que la frecuencia, a veces son llamados VVVF (variador de voltaje variador de frecuencia). (Varimak, 2006)

Para el caso de un motor síncrono, la velocidad se determina mediante la ecuación (1) que se expresa a continuación:

$$N = \frac{120 \times f}{P} \quad (1)$$

Cuando se trata de motores de inducción, la velocidad se determina mediante la siguiente ecuación (2):

$$Nm = \frac{120 \times f \times (1-s)}{P} \quad (2)$$

Donde:

- Nm = velocidad mecánica
- f= frecuencia de alimentación
- s= deslizamiento
- p = número de polos

Como puede verse en las expresiones anteriores, la frecuencia y la velocidad son directamente proporcionales, de tal manera que al aumentar la frecuencia de alimentación al motor, se incrementara la velocidad de la flecha, y al reducir el valor de la frecuencia disminuirá la velocidad del eje. Por ello es que este tipo de variadores manipula la frecuencia de alimentación al motor a fin de obtener control de la velocidad de la máquina.

La selección de los variadores de frecuencia a utilizar se hizo con base a los requerimientos de potencia nominal de cada uno de los motores a ser regulado. Las características de estos equipos se obtienen de la tabla de Anexos 8: Características de los variadores de frecuencia del catálogo del proveedor Danfoss para motores trifásicos. El ventilador de recirculación tiene un consumo de 2,2 kW lo cual representa en caballos de fuerza un valor aproximado de 3 HP. (Rangel Castillo, 2010)

Al compararlo con los valores de carga de la tabla se puede determinar que el variador de frecuencia que satisface la carga de los motores es el modelo FC301 y de capacidad 3,75 kW.

El variador de frecuencia que se utilizará es de marca Danfoss serie FC301 es un dispositivo diseñado para controlar la frecuencia de los motores de inducción de corriente alterna trifásicos en una variedad de aplicaciones exigentes en las que la flexibilidad, el rendimiento y la facilidad de uso son esenciales.

Las señales de control para el arranque, parada y variación de frecuencia (potenciómetros o señales externas de referencia) deben ser aisladas galvánicamente para evitar daños en sensores o controles y evitar ruidos en la etapa de control. La configuración de este variador se hará para control de frecuencia externo por medio de potenciómetros que estarán ajustados para trabajar a 50% y a 70 % dependiendo el momento del proceso. La figura 3.2 muestra los variadores de velocidad de la serie FC300 que están disponibles en un rango de 3,75 a 7,5 kW y de 380 - 480 V. Se considera que los sistemas de potencia deben ser capaces de resistir la pérdida de un componente, por lo que es necesario un análisis previo de cargabilidad y confiabilidad de cada uno de sus elementos. (Parra, Cardenas, Vega, Valencia , & Solano , 2018)



Figuras 3.2 Variador Danfoss FC301
Fuente: **Autor**

3.3 Sensores Inductivos

Un sensor inductivo es un dispositivo que detecta, manifestaciones de cualidades o fenómenos físicos, como la energía, velocidad, aceleración, tamaño, cantidad, proximidad. Las ventajas de su instalación pasan por la economía, compatibilidad, resistencia a impactos, facilidad de instalación y utilización. Para el funcionamiento del sistema de control de malla transportadora que detecta el movimiento y de señal en la compuerta de entrada del acondicionador para controlar los variadores de frecuencia de los ventiladores de recirculación en cada módulo durante los cambios de referencia se utilizara el sensor tipo inductivo y lo describimos a continuación. (Festo, 2018)

Sensor inductivo: los sensores inductivos son dispositivos que detectan objetos metálicos en áreas de exploración generalmente muy pequeñas mediante la proximidad de los metales. Son capaces de convertir una magnitud física en señal eléctrica, que puede ser transmitida a un controlador que a su vez usará esa señal para realizar el monitoreo y confirmación de un proceso. El diámetro del sensor como se muestra en la figura 3.3 es el factor decisivo para la distancia de conmutación que con frecuencia es de unos cuantos milímetros. (Valecillos B., 2007)



Figuras 3.3 *Sensor inductivo*
Fuente: *Autor*

PARTE II APORTACIONES

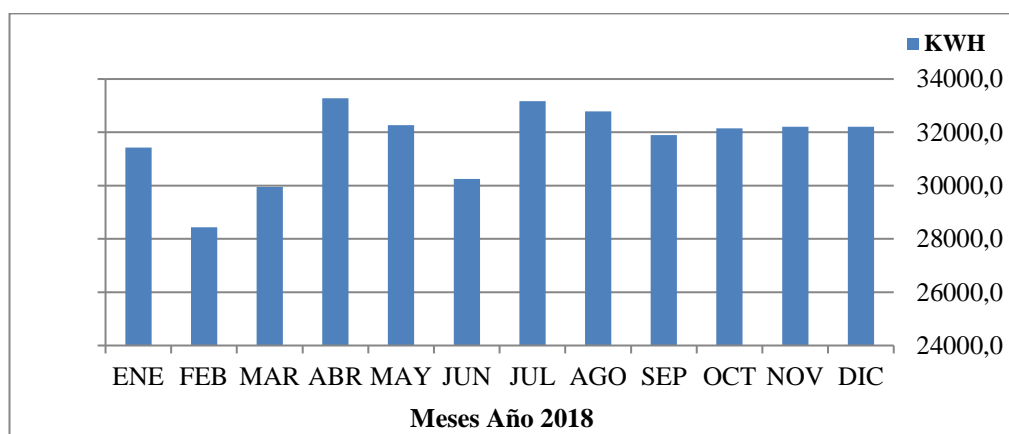
CAPITULO 4

LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN Y MEDICIÓN DE DATOS

Para realizar el levantamiento y medición de datos de las variables involucradas se debe preparar lo que se llama “Plan de recolección de datos”, en el cual se establece la medición, frecuencia y la fuente de la información. El análisis previo de la información es fundamental, para determinar las acciones que se deben llevar a cabo, por ello se realizara un levantamiento de información con la finalidad de conocer el comportamiento de las variables de energía, combustibles (diésel y gas) y eficiencia de la fábrica, y así, mediante el conocimiento de esta información fundamentar nuestro análisis técnico que favorezca a la eficiencia energética del sistema de control de temperatura mediante variadores. Todos los datos de las variables se los puede tomar del Sistema de Producción.

4.1 Proceso de toma de datos

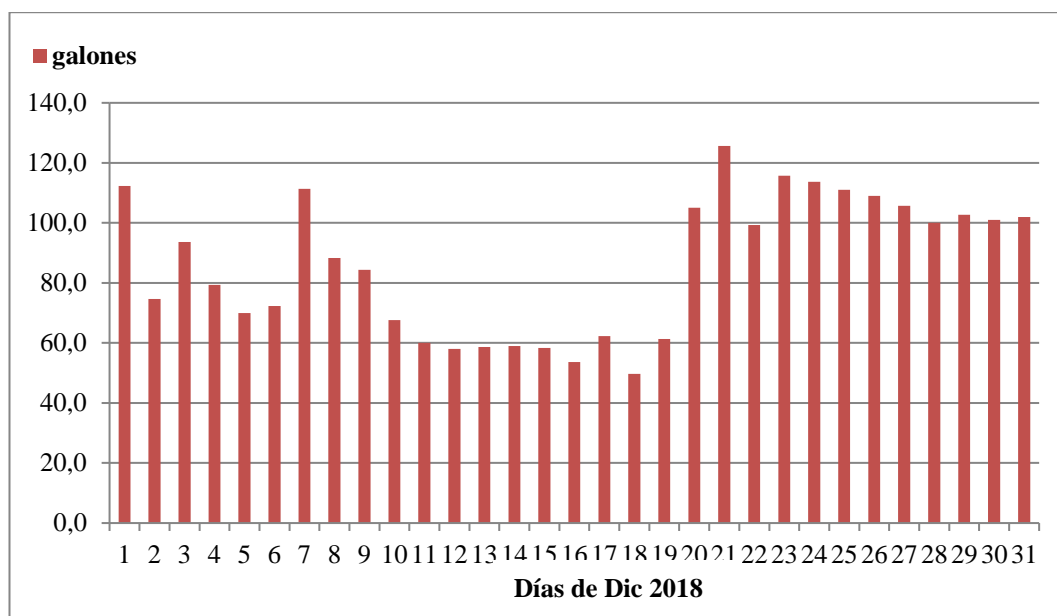
Como se mencionó en la parte inicial de este capítulo, existen varios factores que afectan a la eficiencia de la producción, estos factores son las variables de nuestro sistema de control, con la ayuda del Sistema de Producción se tuvo acceso a información histórica del comportamiento de la energía eléctrica del acondicionador. La figura 4.1.a nos indica el consumo energético durante el año 2018.



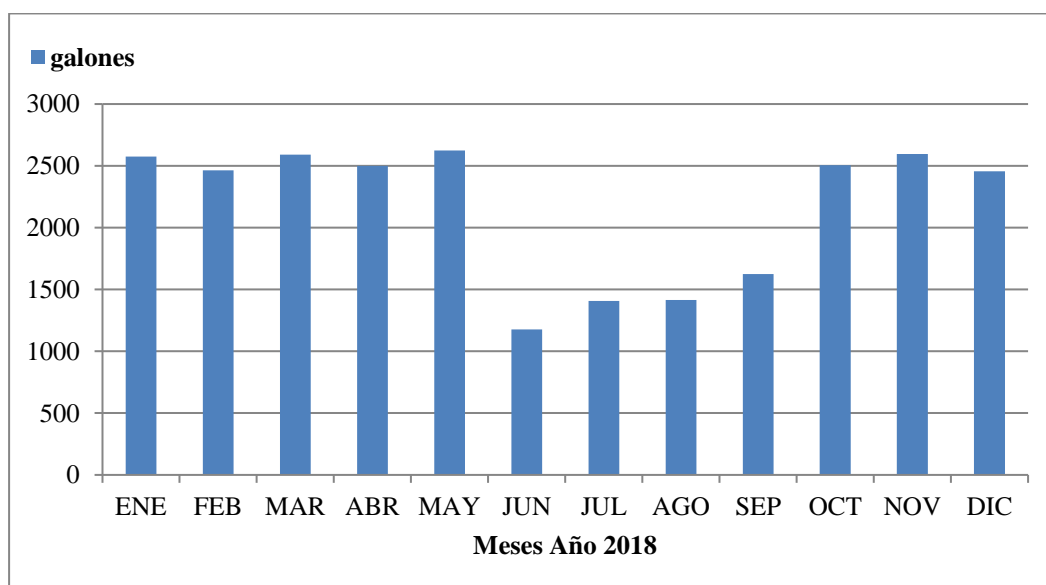
Figuras 4.1.a Consumo energético del acondicionador del año 2018

Fuente: *Sistema de producción O-I Ecuador*

Con ayuda de la figura 4.1.a se ve que el promedio del consumo energético es de 31.669,7 KW. La siguiente variable mostrada en la figura 4.1.b y 4.1.c respectivamente nos indican el consumo mensual y anual de combustible diésel consumido en el acondicionador.

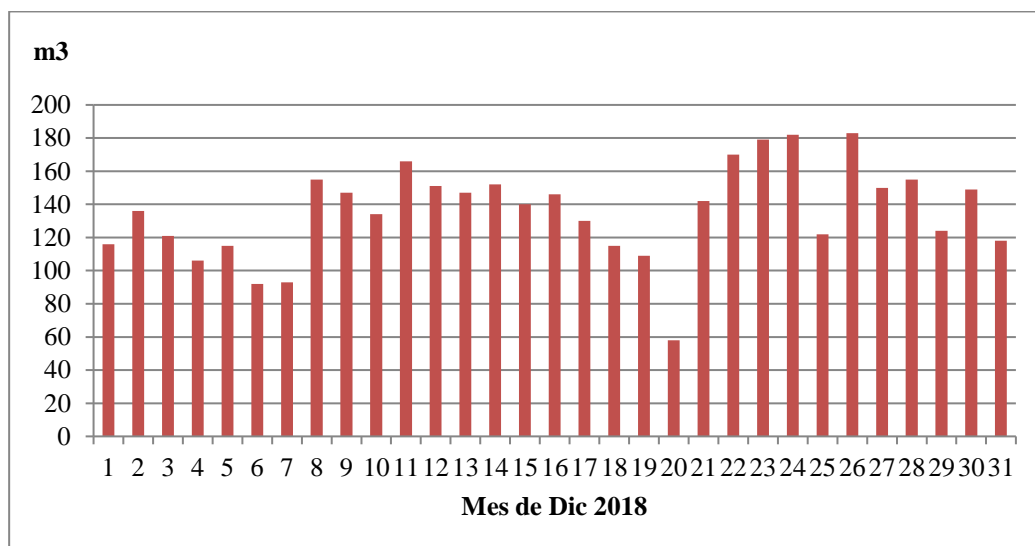


Figuras 4.1.b *Consumo mensual de diésel del acondicionador*
 Fuente: *Sistema de producción O-I Ecuador*

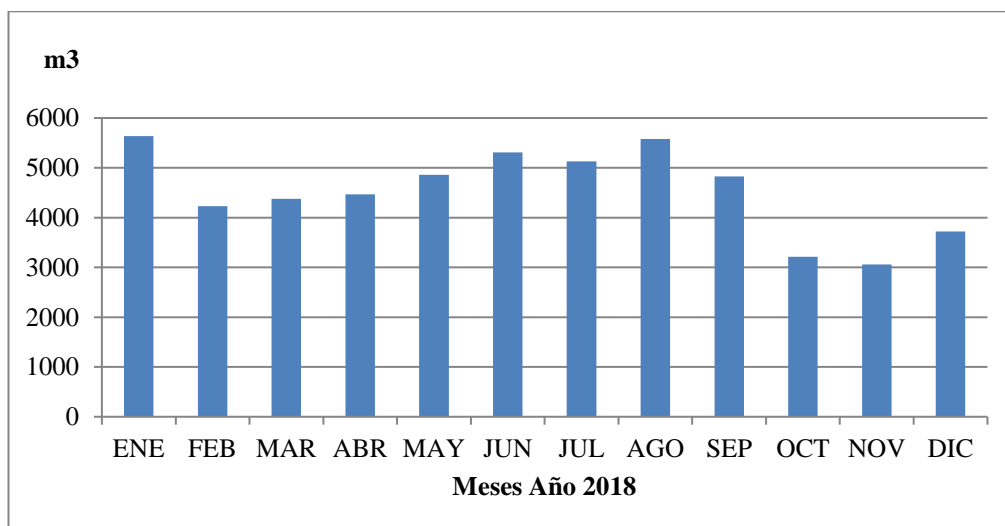


Figuras 4.1.c *Consumo Anual de diésel del acondicionador*
 Fuente: *Sistema de producción O-I Ecuador*

Las figuras 4.1.b y 4.1.c muestran que el promedio del consumo mensual y anual de diésel respectivamente es 2665,66 galones y 33980,9 galones. La siguiente variable que se nos muestra en la figura 4.1.d y 4.1.e respectivamente nos indican el consumo mensual y anual de combustible GLP (gas licuado de petróleo) consumido en el acondicionador.

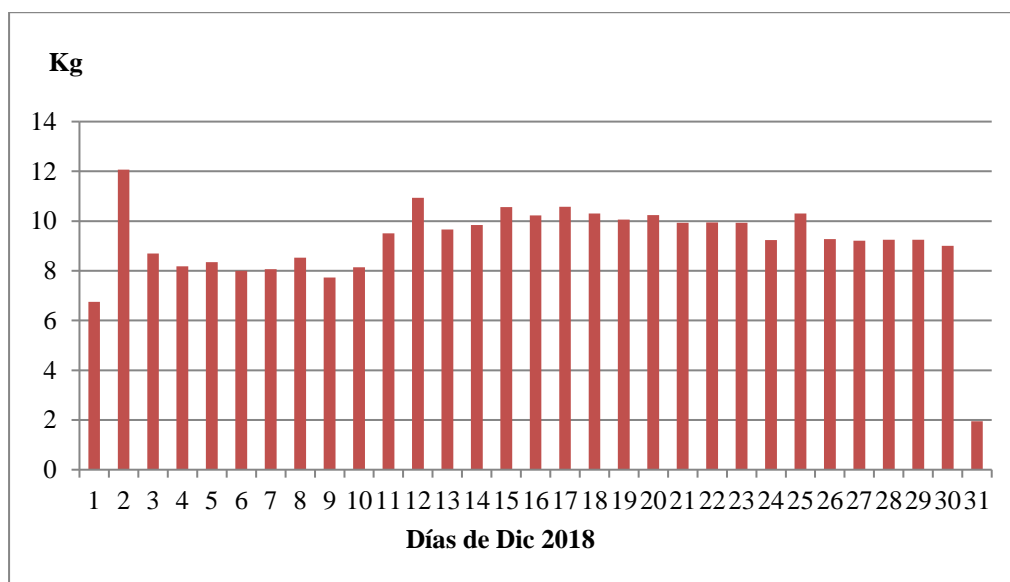


Figuras 4.1.d Consumo mensual de GLP del acondicionador
Fuente: Sistema de producción O-I Ecuador

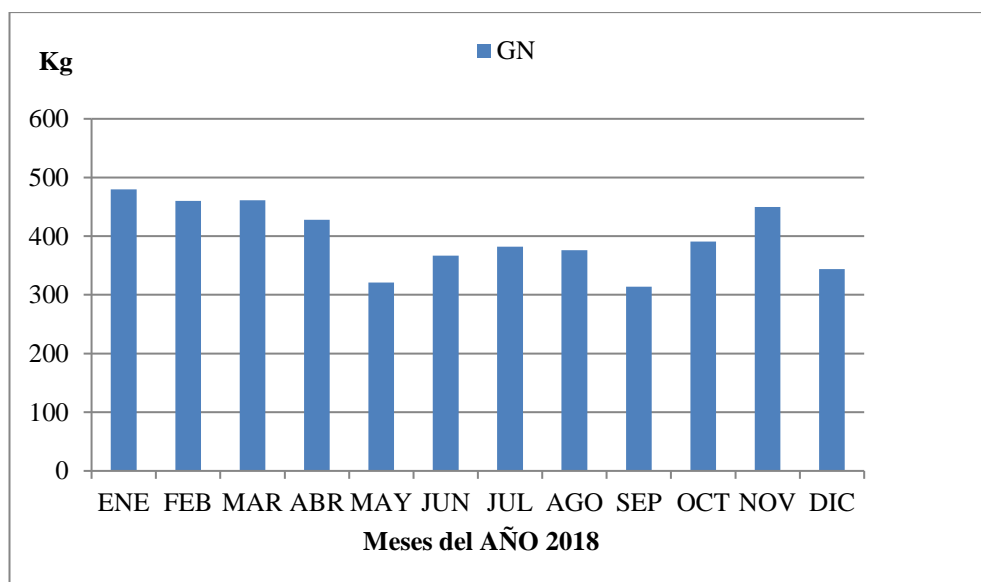


Figuras 4.1.e Consumo Anual de GLP del acondicionador
Fuente: Sistema de producción O-I Ecuador

De las figuras 4.1.d y 4.1.e se obtiene que el promedio del consumo mensual y anual de GLP respectivamente es 4203 kg y 46233 kg, la siguiente variable a analizar en la figura 4.1.f y 4.1.g respectivamente nos indican el consumo mensual y anual de combustible GNL (gas natural licuado) consumido en el acondicionador.



Figuras 4.1.f Consumo mensual de GNL del acondicionador
Fuente: *Sistema de producción O-I Ecuador*



Figuras 4.1.g Consumo Anual de GNL del acondicionador
Fuente: *Sistema de producción O-I Ecuador*

Finalmente de las figuras 4.1.f y 4.1.g se muestra que el promedio del consumo mensual y anual de GNL respectivamente es 283,68 m³ y 3540 m³. En esta recopilación de datos del sistema de producción hemos obtenido la información actual de los consumos de energía y combustibles para evaluarlos con consumo estimado del sistema de control mediante variadores.

4.2 Información de cargas del acondicionador

La información que se indica a continuación detallara los parámetros y especificaciones de las cargas que representan el acondicionador, con la finalidad de tomar una decisión lo más fundamentada y acertada para el sistema de control de temperatura mediante variadores, para ello es necesario obtener el voltaje y la frecuencia de operación de las cargas y luego determinar el tamaño de cada una de las cargas. A continuación se muestra la información de los diversos componentes empleados en el funcionamiento del sistema de control de temperatura del acondicionador estos valores representan los valores de placa y se muestran en la tabla 4.2.1.

Tabla 4.2.1 *Valores nominales de placa*

Tipo de Cargas	Tensión Nominal (V)	Frecuencia (Hz)
Recirculador	(345-420)	50
Quemador	230	50
Enfriamiento Empaque	400	50
Extractor de aire	440	60
Malla Transportadora	400	50
Tratamiento Principal	460	60
Tratamiento Auxiliar	460	60
Aire Acondicionado	220	60
Otras Cargas	220	60

Fuente: (Owens-Illinois Ecuador, 2010)

La potencia de las cargas nominales (expresado en KVA) de cada componente del acondicionador que conforman el sistema se muestran en la tabla 4.2.2.

Tabla 4.2.2 *Valores total de carga de los componentes del Acondicionador*

Tipo de Cargas	Cantidad de Cargas	Potencia (Kw)	Carga c/u (VA)	Carga Total(VA)
Recirculadores	15	2,2	2588,24	38823,6
Quemadores	7	0,06	70,59	494,13
Enfriamiento Empaque	5	0,47	626,67	3133,33
Extractor de aire	1	0,85	1000	1000
Malla Transportadora	1	1,1	1294,12	1294,12
Tratamiento Principal	1	0,43	573,34	573,34
Tratamiento Auxiliar	1	0,746	877,65	877,65
Aire Acondicionado	1	1,5	1875	1875
Otras Cargas ¹	-	4,10	5125	5125
Carga Total del ARCHA	-	-	-	53196,17

Fuente: (Owens-Illinois Ecuador, 2010)

Para la selección de los variadores de frecuencia a utilizar se deben considerar los requerimientos de potencia nominal de cada uno de los motores a ser regulados. El motores ventiladores de recirculación tiene un consumo de 2.2 KW lo que representa un valor aproximado de 3 HP. Al compararlo con los valores de carga de la tabla 4.2.3 se determina que el variador que satisface esa capacidad de carga es el de código FC301 P2K2 y capacidad de carga de 3 HP, que representa la mejor opción a seleccionar para el trabajo a realizar.

Tabla 4.2.3 *Datos Eléctricos para Variadores Danfoss*

Alimentación de red 3 x 380-500 V CA (FC 302), 3 x 380-480 V CA (FC 301)										
	PK 37	PK 55	PK75	P1K1	P1K5	P2K2	P3K0	P4K0	P5K5	P7K5
FC 301/FC 302	0,37	0,55	0,75	1,1	1,5	2,2	3	4	5,5	7,5
Eje de salida típico [kW]										
Protección IP20/IP21	A2	A2	A2	A2	A2	A2	A2	A2	A3	A3
Protección IP20 (FC 301 solo)	A1	A1	A1	A1	A1					
Protección IP55, 66	A4/A5	A4/A5	A4/A5	A4/A5	A4/A5	A4/A5	A4/A5	A4/A5	A5	A5
Intensidad de salida										
Sobrecarga alta del 160 % durante 1 min.										
Eje de salida [kW]	0,37	0,55	0,75	1,1	1,5	2,2	3	4	5,5	7,5
Continua (3 x 380-440 V) [A]	1,3	1,8	2,4	3	4,1	5,6	7,2	10	13	16
Intermitente (3 x 380-440 V) [A]	2,1	2,9	3,8	4,8	6,6	9,0	11,5	16	20,8	25,6
Continua (3 x 441-500 V) [A]	1,2	1,6	2,1	2,7	3,4	4,8	6,3	8,2	11	14,5
Intermitente (3 x 441-500 V) [A]	1,9	2,6	3,4	4,3	5,4	7,7	10,1	13,1	17,6	23,2
Continua kVA (400 V CA) [kVA]	0,9	1,3	1,7	2,1	2,8	3,9	5,0	6,9	9,0	11,0
Continua kVA (460 V CA) [kVA]	0,9	1,3	1,7	2,4	2,7	3,8	5,0	6,5	8,8	11,6
Intensidad de entrada máx.										
Continua (3 x 380-440 V) [A]	1,2	1,6	2,2	2,7	3,7	5,0	6,5	9,0	11,7	14,4
Intermitente (3 x 380-440 V) [A]	1,9	2,6	3,5	4,3	5,9	8,0	10,4	14,4	18,7	23,0
Continua (3 x 441-500 V) [A]	1,0	1,4	1,9	2,7	3,1	4,3	5,7	7,4	9,9	13,0
Intermitente (3 x 441-500 V) [A]	1,6	2,2	3,0	4,3	5,0	6,9	9,1	11,8	15,8	20,8
Especificaciones adicionales										
Sección transversal máx. del cable IP20, 21 (red, motor, freno y carga compartida) [mm ² (AWG)] ²	4,4,4 (12,12,12) (min. 0,2(24))									
Sección transversal máx. del cable IP55, 66 ³⁾ (red, motor, freno y carga compartida) [mm ² (AWG)]	4,4,4 (12,12,12)									
Sección transversal máx. del cable ³⁾ con desconexión	6,4,4 (10,12,12)									
Pérdida estimada de potencia a carga máx. nominal [W] ⁴⁾	35	42	46	58	62	88	116	124	187	255
Peso, protección IP20	4,7	4,7	4,8	4,8	4,9	4,9	4,9	4,9	6,6	6,6
Protección IP55, 66	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5	14,2	14,2
Rendimiento ⁴⁾	0,93	0,95	0,96	0,96	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97

0,37-7,5 kW solamente disponible como 160 % de sobrecarga alta.

Fuente: (Danfoss Industry., 2012)

Los fusibles y magneto térmicos son obligatorios por eso el fabricante Danfoss nos recomienda utilizar los que se presentan en la tabla 4.2.4.

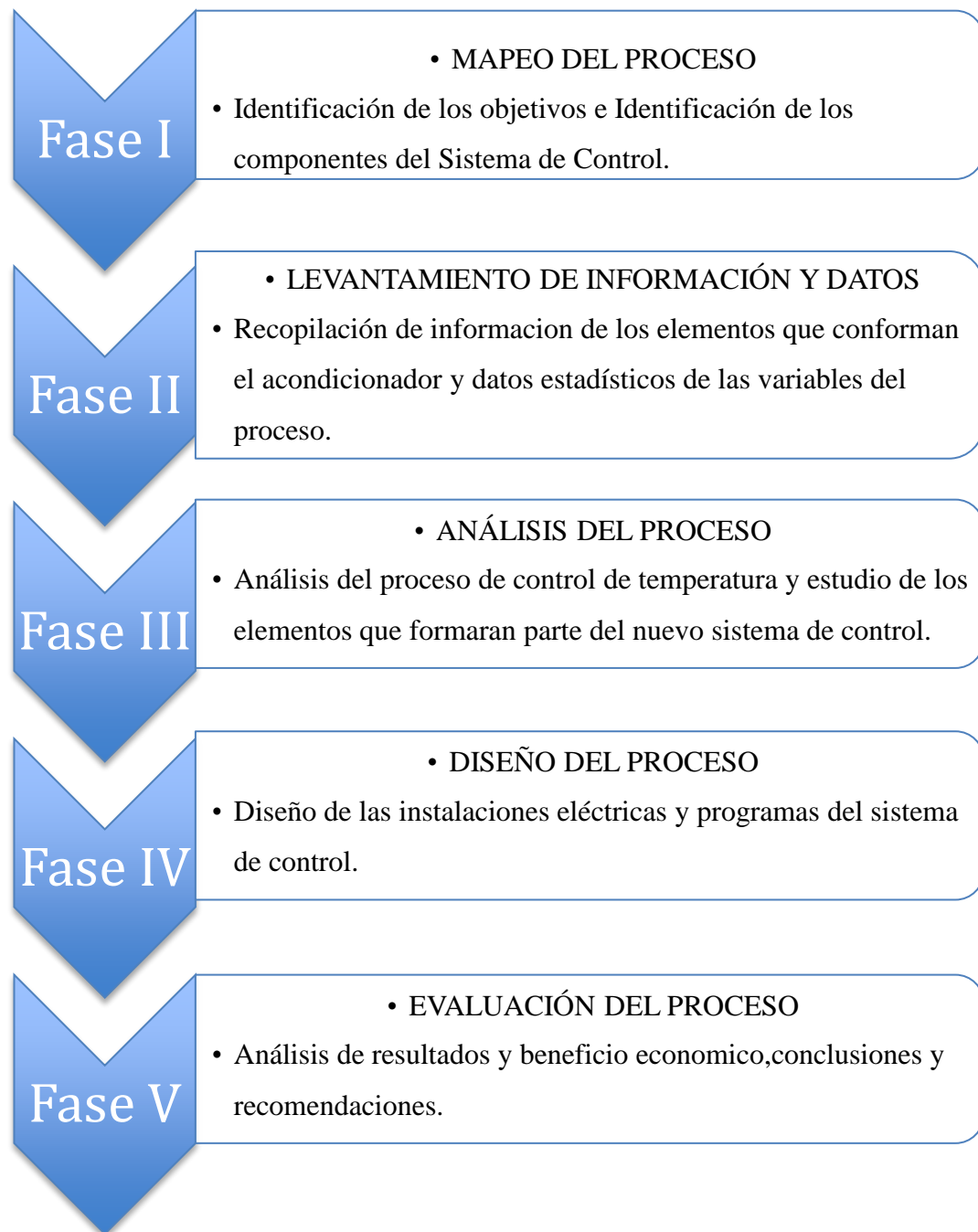
Tabla 4.2.4. *Datos Eléctricos para Variadores Danfoss*

Protección	Potencia del FC 300	Tamaño de fusible recomendado	Fusible máx. recomendado	Magnetotérmico recomendado	Nivel de desconexión máx.
Tamaño	[kW]			Moeller	[A]
A1	0.25-1.5	gG-10	gG-25	PKZMO-16	16
A2	0.25-2.2	gG-10 (0,25-1,5) gG-16 (2,2)	gG-25	PKZMO-25	25
A3	3.0-3.7	gG-16 (3) gG-20 (3,7)	gG-32	PKZMO-25	25
B3	5,5	gG-25	gG-63	PKZM4-50	50
B4	7,5-15	gG-32 (7,5) gG-50 (11) gG-63 (15)	gG-125	NZMB1-A100	100
C3	18,5-22	gG-80 (18,5) aR-125 (22)	gG-150 (18,5) aR-160 (22)	NZMB2-A200	150
C4	30-37	aR-160 (30) aR-200 (37)	aR-200 (30) aR-250 (37)	NZMB2-A250	250
A4	0.25-2.2	gG-10 (0,25-1,5) gG-16 (2,2)	gG-32	PKZMO-25	25
A5	0.25-3.7	gG-10 (0,25-1,5) gG-16 (2,2-3) gG-20 (3,7)	gG-32	PKZMO-25	25
B1	5.5-7.5	gG-25 (5,5) gG-32 (7,5)	gG-80	PKZM4-63	63
B2	11	gG-50	gG-100	NZMB1-A100	100
C1	15-22	gG-63 (15) gG-80 (18,5) gG-100 (22)	gG-160 (15-18,5) aR-160 (22)	NZMB2-A200	160
C2	30-37	aR-160 (30) aR-200 (37)	aR-200 (30) aR-250 (37)	NZMB2-A250	250

Fuente: (Danfoss Industry., 2012)

4.3 Mapa de flujo del proceso

En el flujograma de la figura 4.3 se muestra la línea de pasos de acciones del sistema de control de temperatura mediante variadores.



Figuras 4.3 *Mapa de flujo del Proceso*
Fuente: *Autor*

CAPITULO 5

DISEÑO DE AUTOMATIZACIÓN

Para el desarrollo del sistema y realizar la optimización en el acondicionador de vidrio debemos partir de los datos técnicos de cada elemento que está involucrado en la optimización y de los datos actuales de consumos tanto de energía como de combustible. Se analizarán los datos y se desarrollará el cálculo de los nuevos elementos que conformarán el sistema mejorado.

5.1 Condiciones actuales

El proceso de la formación de los envases de vidrio comienza en las máquinas de formación, en el siguiente proceso las botellas son llevadas por las bandas transportadoras al acondicionador de vidrio. Allí se le dará el temple exigido por las especificaciones del producto, eliminando o minimizando las tensiones internas en los envases.

Al pasar a través del acondicionador de vidrio encontrarán zonas de calentamiento, para así llevar la temperatura de los envases a una temperatura máxima de unos 650 °C y luego ser acondicionados gradualmente a temperatura ambiente hasta una adecuada salida del proceso. El recorrido de los envases tiene una duración aproximada de unos 40 minutos, puede cambiar dependiendo el tipo de envase que se está formando, la velocidad de la malla y el tamaño del acondicionador. El proceso se puede dividir en tres secciones, caliente, neutral y de temperatura ambiente. El sistema de control está programado para coordinar el funcionamiento de alarmas o condiciones y corrección de errores. (Parra, Jimenez, Nuñez, & Vega, 2017)

Después de conocer el funcionamiento y las características de cada elemento del acondicionador de envases de vidrio logramos identificar el método a usar para realizar el mejoramiento del proceso y se lo realizará en varios controles que detallamos a continuación:

a) Control de ventiladores de recirculación

Para concentrar el calor en cada uno de los módulos se necesitara controlar los ventiladores de recirculación, lo cual se hará usando variadores de frecuencia Danfoss modelo 301 que disminuirán la frecuencia de trabajo de los ventiladores durante el proceso en un 30%, y durante el ingreso de envases. Así se bajará considerablemente el uso de calor adicional en los módulos de la zona caliente del acondicionador y ayudará a mantener uniformemente el calor en la zona neutral y en la zona final, reduciendo considerablemente el trabajo de los quemadores y bajando el consumo de energía y de combustibles.

b) Control en cambios de referencia

Se controla el funcionamiento de los ventiladores en los cambios de referencia haciendo bajar su frecuencia a un 50%, esto se realizara con ayuda de una señal en la compuerta que se activará al cerrarse la misma cuando no estén ingresando envases al acondicionador de vidrio.

c) Control de malla

El proceso de control de la malla se realizara usando las señales de trabajo de los variadores de frecuencia para controlar el movimiento de la malla y a su vez instalaremos un sensor inductivo de seguridad que ayudará en caso que existan problemas en la malla debido a atascamientos, roturas, daños en la transmisión mecánica o en el motor.

d) Control por PLC

Todo el proceso de automatización y control de sensores, señales desde los variadores y activación de quemadores del acondicionador de vidrio funcionara mediante un PLC Siemens Logo el cual llevará el programa tanto para darle secuencia de trabajo a los ventiladores de recirculación durante el cambio de referencia como el control temporizado del funcionamiento de la malla.

Para afrontar el problema de la automatización del acondicionador de vidrio es necesario en primer lugar obtener un conocimiento exhaustivo del funcionamiento del proceso, para lo cual se realizara una investigación documental y se recolectara la información del histórico de la base de datos del sistema de producción, se efectuaran una serie de observaciones e indagaciones con el personal que trabaja en los equipos, con el fin de conocer los aspectos que según ellos el diseño debería de tener en cuenta y los componentes que los controladores deberían de gobernar.

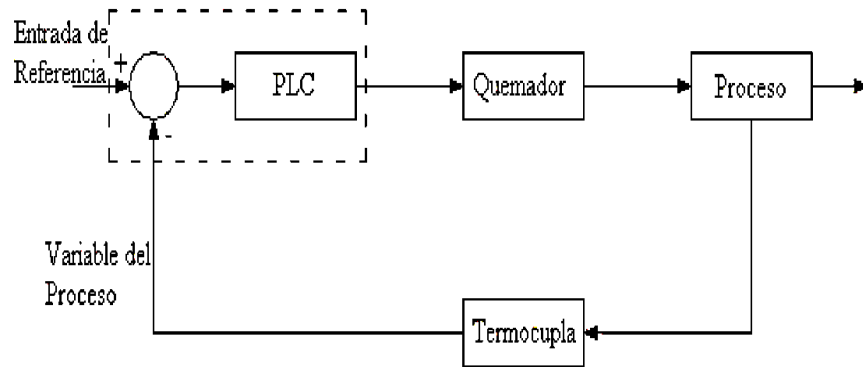
Con estos datos y la selección de elementos como el PLC, variadores y sensores se procederá a diseñar el sistema de control de temperatura mediante variadores que cumplirá con el objetivo de optimizar la producción de envases de vidrio.

5.2 Sistemas automatizados

El sistema automatizado del acondicionador de vidrio que se diseñara estará conformado por múltiples procesos menores, que pueden visualizarse por medio de lazos de control independientes entre sí. Este sistema está conformado por un controlador PLC Siemens Logo y por un conjunto de dispositivos electrónicos y electromecánicos, los cuales en algunos casos sirven como elementos finales de control.

En el diseño del sistema automatizado del acondicionador de envases de vidrio se utilizaran lazos de control abiertos y cerrados para recrear su funcionamiento y así poder representar de un modo más práctico su desempeño, esto nos permite elaborar el diseño del programa de control con una mejor visión de las entradas y salidas del PLC. El lazo de control cerrado o retroalimentación se utiliza en primer lugar, para simular el modo de controlar los quemadores y luego, para mostrar el proceso de control de los ventiladores de recirculación. Tareas industriales como: la soldadura, verificación de soldadura, medición, corte, perforación, ensamblaje de partes mecánicas, etc, son asistidas por la técnica de visión por computadora. (Parra, Negrete, Llaguno , & Vega , 2018)

En la figura 5.2.1 se muestra el sistema de control de lazo cerrado de un quemador.



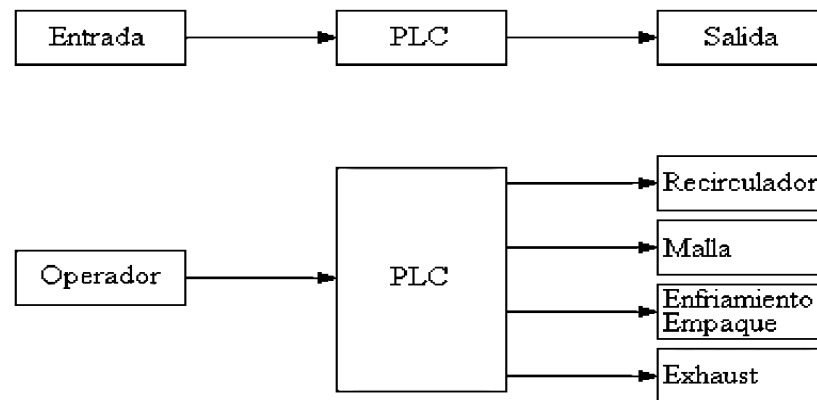
Figuras 5.2.1 *Esquema de control de un quemador*
Fuente: *Autor*

Una de las ventajas de utilizar el sistema de control en lazo cerrado es que el uso de la realimentación vuelve la respuesta del sistema relativamente insensible a las perturbaciones externas y a las variaciones internas en los parámetros del sistema. Esto es muy recomendable en nuestro diseño del sistema, ya que la variable del proceso es la temperatura, y esta no es uniforme dentro del acondicionador. Los sistemas del acondicionador de vidrio en las cuales no afecta la acción de control, se representaron usando sistemas de control de lazo abierto.

Para estos sistemas se conocían con anticipación las entradas, las mismas se habían estudiado previamente para realizar la selección de los controladores y dado que no había perturbaciones en ellas, se estableció que era conveniente a usar un control en lazo abierto, el cual se usará solo hasta que individualmente se realicé la automatización de todos los sistemas que conforman el acondicionador para luego integrarlos como un solo sistema.

En estos sistemas a cada entrada de referencia del PLC le corresponde una señal operativa fija, como resultado la precisión del sistema depende de la calibración del sistema de control. Cada juego de parámetros va a definir una partición, una clase o un agrupamiento diferente y se tratara de seleccionar la mejor opción. (Parra, Negrete, Vega , & Llaguno, 2018)

En la figura 5.2.2 se representa el lazo abierto para múltiples partes controladas por el PLC del acondicionador de vidrio.



Figuras 5.2.2 Esquema de control para otras partes del Acondicionador de vidrio
Fuente: *Autor*

La automatización del sistema está conformada por un PLC Logo el cual recibirá las señales de funcionamiento de los quemadores de cada uno de los módulos principalmente de la zona caliente, cada una de estas señales generará una señal desde el PLC a cada variador que controlara los ventiladores de recirculación a una velocidad establecida, la velocidad de la malla transportadora será controlada por el PLC mediante un sensor inductivo de seguridad, que enviará una señal indicando el estado de operación ya sea esté normal o en cambio de referencia.

Cuando la malla esté en modo cambio de referencia los variadores de frecuencia recibirán una señal de un sensor inductivo ubicado en la compuerta de ingreso del acondicionador, lo cual hará que los ventiladores de recirculación trabajen a una velocidad mínima para lograr mantener el calor y estabilizar la temperatura dentro del acondicionador de vidrio, hasta que vuelva a ingresar envases y no tener la necesidad de prender los quemadores y aplicar calor adicional al sistema. Cuando la operación del acondicionador se estabilice funcionara el lazo cerrado temperatura para controlar la velocidad de los ventiladores de recirculación y la velocidad de la malla transportadora. En algunos diseños, es suficiente y recomendable un control PD, pues un control PID podría provocar que la señal de mando supere los límites físicos. (Vega , Parra, Negrete, Fuentes , & Peñafiel, 2018)

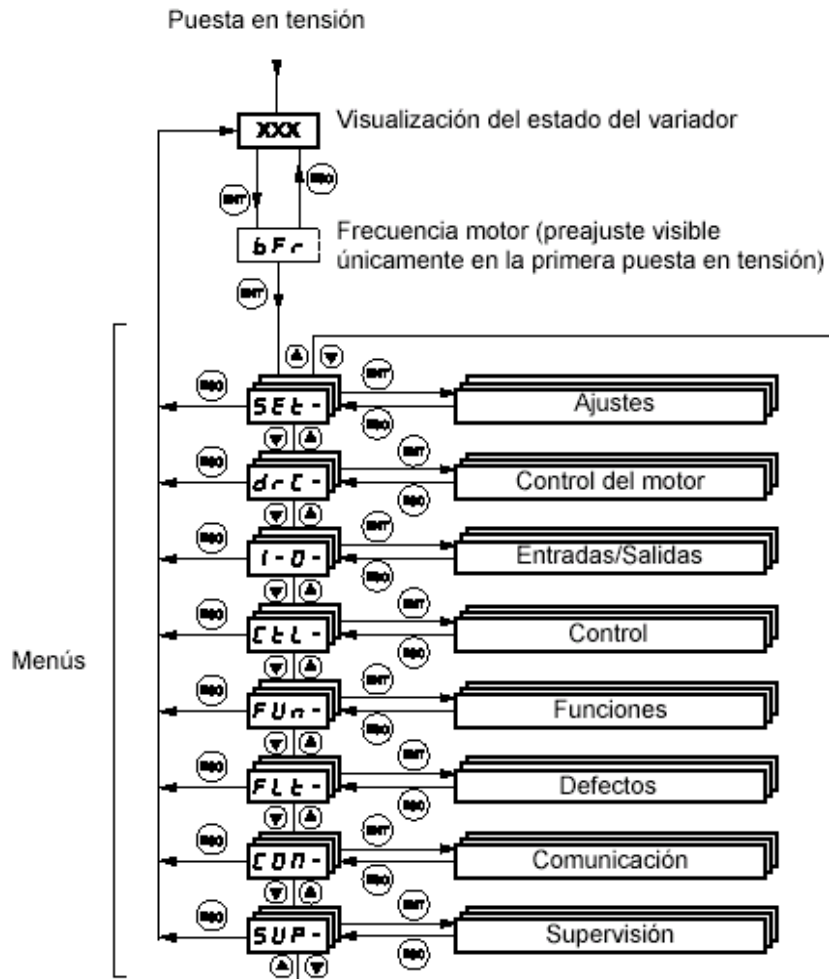
CAPITULO 6

PROGRAMACION DE EQUIPOS

Los sistemas de control industrial demandan del uso de nueva tecnologías que permitan disminuir los costos de implementación. Detallaremos a continuación la programación que se realizará en cada uno de los equipos que forman parte de la automatización del acondicionador de vidrio. (Vega, Parra, Cordova , Andramuño, & Navarrete , Adaptive Control Implemented with Embedded Sustersms , 2018)

6.1 Variador de frecuencia

En el Anexo 6 se muestra el diagrama de fuerza de los motores con su respectivo variador .Se realizara la configuración del variador Danfoss modelo FC 301 mediante el menú de programación de la figura 6.1 que se detalla en el manual del fabricante.



Figuras 6.1 Menú de Programación de variador Danfoss FC301
Fuente: Manual de programación Variadores Danfoss

Se realizara la programación de los variadores de frecuencia tomando en cuenta la siguiente configuración:

- Velocidad preseleccionada para 30 Hz y 60 Hz
- Control de frecuencia por potenciómetros
- Habilitar parada rápida en caso de emergencia
- Señalización de fallo mediante relé
- Control de frecuencia mediante sensor inductivo
- Velocidad mínima de 0 Hz y velocidad máxima de 75 Hz
- Velocidad mínima de 0 Hz y velocidad máxima de 30 Hz

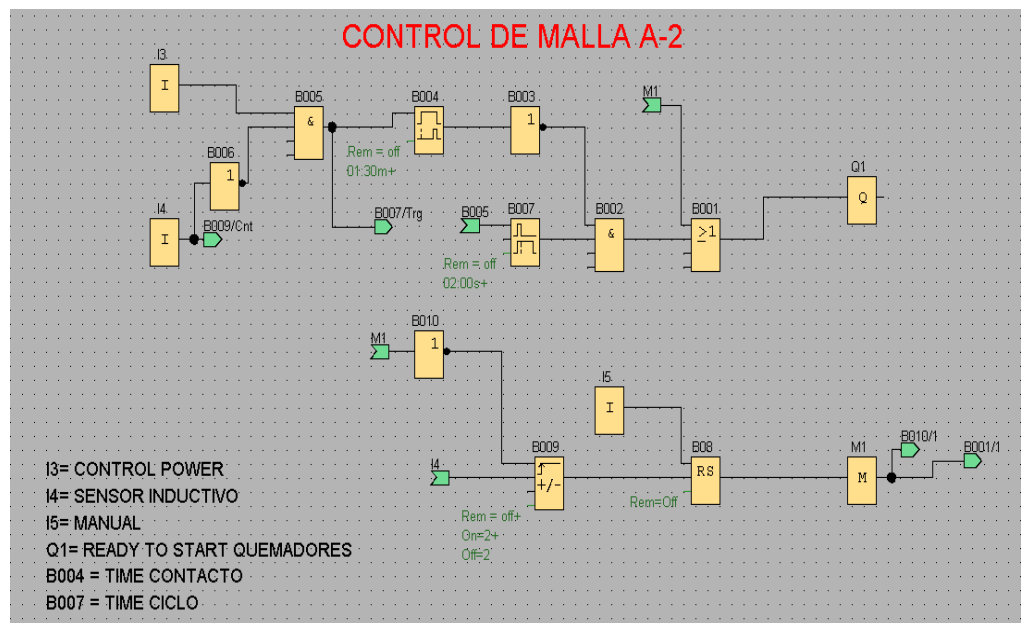
En el Anexo 7 se muestra el diagrama de control de referencia de los variadores.

6.2 Programa de control de malla

Para la automatización de la malla del acondicionador de vidrio se realizara un control mediante un sensor inductivo instalado en el rodillo principal. Este sensor inductivo enviará una señal digital al PLC que indicará cuando está en movimiento la malla del acondicionador de vidrio mediante un temporizador, si llega a presentarse un problema de rotura de malla, estancamiento o falla en la transmisión mecánica automáticamente el sistema detectara la falta de movimiento y enviará una señal que alarmara el sistema y tanto los quemadores de gas, quemadores de diésel y ventiladores de recirculación trabajaran bajo otras condiciones.

Para restablecer el funcionamiento de los quemadores y ventiladores de recirculación habrá la opción de trabajo en modo manual que permite seguir operativo hasta arreglar el problema que se presente con la malla. Una vez que vuelva a girar la malla el sensor inductivo enviará la señal de trabajo y reestablecerá las condiciones normales de funcionamiento de los equipos. En el Anexo 2 se muestra el diagrama eléctrico de control de malla.

La figura 6.2 muestra la programación para el control de la malla del acondicionador de vidrio en el PLC Logo.



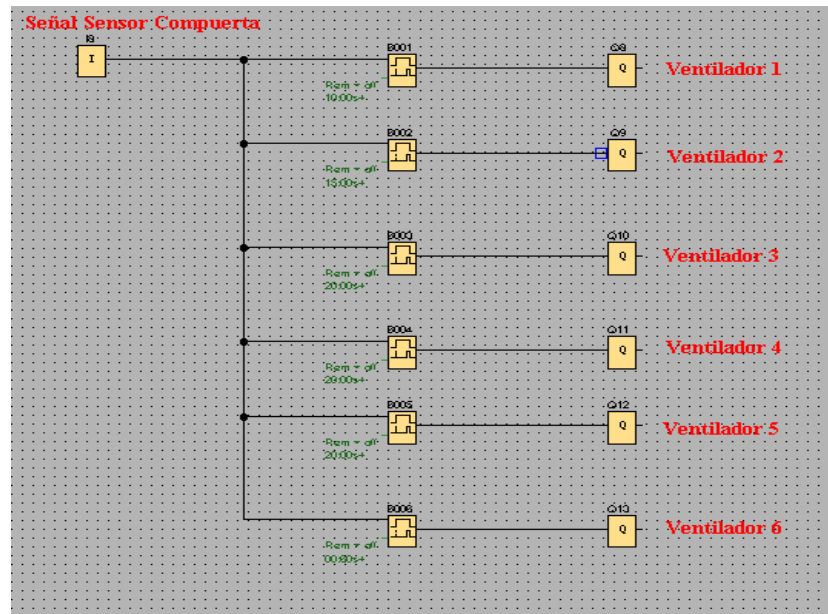
Figuras 6.2 Programa del control de malla en el PLC Logo
Fuente: *Autor*

6.3 Programa de control de ventiladores

Para la automatización de los ventiladores de recirculación de cada módulo se utilizara un sensor inductivo en la compuerta de entrada del acondicionador de vidrio que dará una señal digital cuando se cierre la compuerta durante los cambios de referencia, esta señal permitirá controlar mediante el PLC Logo y a través de los variadores la frecuencia de los ventiladores de recirculación y la velocidad de la malla transportadora del acondicionador. En el Anexo 5 se muestra el diagrama de control de ventiladores de recirculación.

Al activarse la señal de compuerta cerrada los variadores de frecuencia que controlan a los ventiladores reducirán su velocidad un 50% mediante el uso de unos potenciómetros que harán el cambio en la señal analógica que va hacia los variadores, el programa en el PLC controlara a su vez la secuencia de variación de la frecuencia de los ventiladores comenzando con el del módulo 1 y siguiendo con los otros módulos a medida de que los envases dentro del acondicionador vayan avanzando, al desactivarse la señal del sensor inductivo los variadores de frecuencia volverán al 70% y los ventiladores trabajaran normalmente.

La figura 6.3 nos muestra el programa de control de los ventiladores realizado en el PLC.



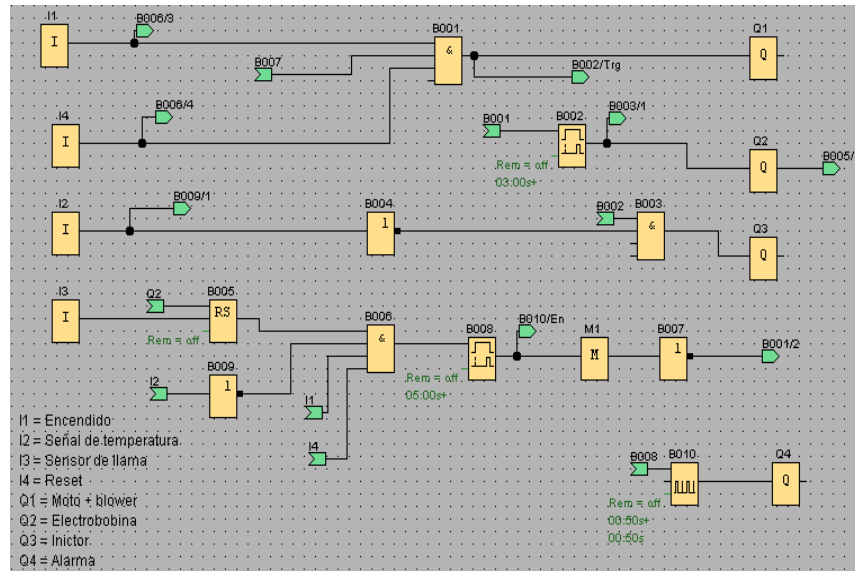
Figuras 6.3 Programa del control de ventiladores en el PLC Logo
Fuente: *Autor*

6.4 Programa de control de quemadores

La automatización de los quemadores de gas y los quemadores de diésel la realizaremos mediante el PLC Logo. Los quemadores se deshabilitarán así mismo si ocurre un mal funcionamiento durante la operación. Si un quemador falla se encenderá una luz indicadora en el tablero de control y el PLC dará una señal activando la alarma visual y una alarma acústica que avisara a los operadores sobre la falla.

El control de los quemadores de diésel y los quemadores de gas de cada módulo trabajara en un solo PLC y por eso todos los quemadores del módulo en falla se apagaran esto nos permite controlar en caso de alguna falla el ventilador de recirculación de cada módulo para hacer variar su frecuencia y así mantener la concentración de calor hasta que se restablezca el funcionamiento, para reiniciar el funcionamiento del quemador en falla tendremos un botón de reset en cada quemador que nos permitirá apagar la señal acústica sin apagar la señal visual hasta que se logre recuperar la temperatura de operación. En el Anexo 1 se muestra el diagrama eléctrico de control de quemadores.

Tenemos una alarma adicional en los controladores de temperatura cuando exista variación por problemas de mala combustión. La figura 6.4 nos muestra la programación del quemador y su sistema de control mediante el PLC logo.



Figuras 6.4 Programación de quemadores y sistema de control por PLC Logo
Fuente: **Autor**

6.5 Programación del Controlador de Temperatura

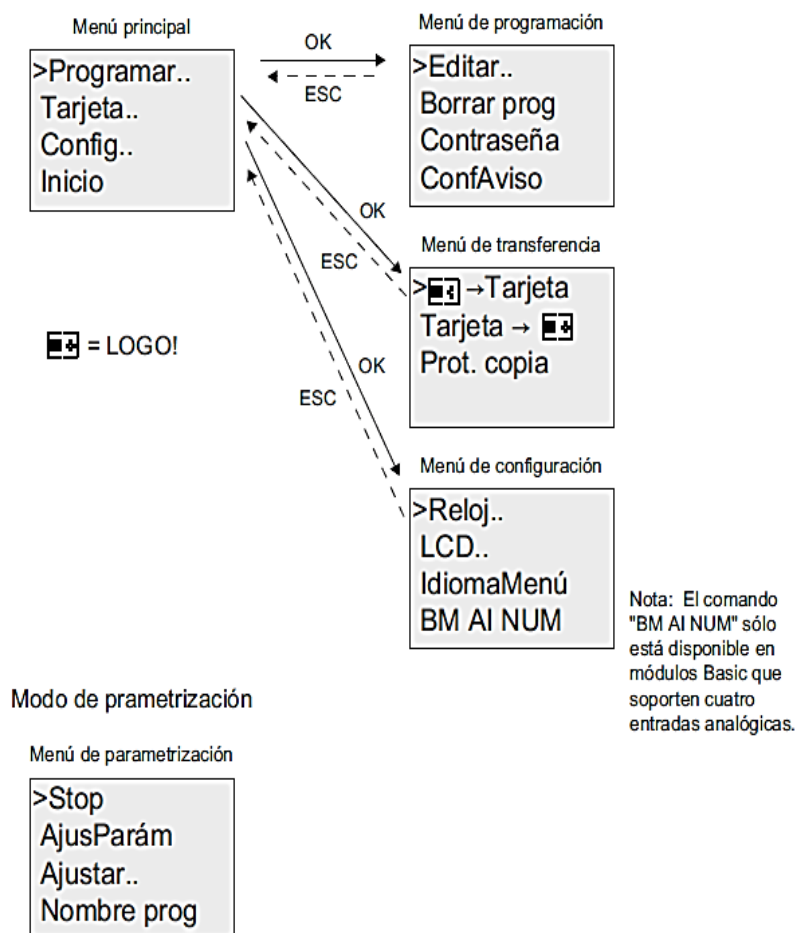
Los equipos antes mencionados se integran al lazo de control de temperatura por cada zona del acondicionador de vidrio. Para realizar la programación del controlador de temperatura Eurotherm modelo P108 debemos tomar en cuenta la siguiente configuración:

- Alarma de baja temperatura
- Alarma de alta temperatura
- Configuración para termocupla tipo K
- Salida de relé hacia el PLC Logo

En el Anexo 3 se muestra el diagrama eléctrico del controlador de temperatura y en la tabla del Anexo 10 nos indica los parámetros para configurar el controlador de temperatura Eurotherm P108. Se obtiene un modelo matemático del sistema, con el cual, se realiza la calibración del controlador PID. (Vega, Parra, & Martillo, Didactic Equipment Developed with Embedded Systems for the Learning of Engineering, 2017)

6.6 Programación del PLC Logo Soft

El PLC Logo será encargado de manejar todos los sistemas que se han automatizado en el acondicionador de vidrio. Los programas para cada uno de los sistemas controlaran individualmente cada uno de los módulos y también trabajarán como un solo sistema durante los cambios de referencia. En la figura 6.6 se muestra el modo de programación del PLC Logo y en el Anexo 4 se muestra el diagrama de conexiones eléctricas del PLC. El rendimiento de los controladores se determina a través de su estabilidad y la capacidad que poseen para realizar un seguimiento de los cambios que se realicen en la entrada de forma continua. (Vega , Parra , Cordova , Andramuño, & Alvarez, Cascade Control Algorithm developed with Embedded Systems, 2018)



Figuras 6.6 Modo de Programación del PLC Logo
Fuente: (Siemens, 2012)

CAPITULO 7

ESTUDIO ECONÓMICO

El estudio económico se realizará con el fin de realizar un presupuesto aproximado al costo real del sistema de control de temperatura mediante variadores, para de esta manera determinar la viabilidad y factibilidad del sistema, que tiene como finalidad optimizar la fabricación de envases de vidrio en la compañía CRIDESA S.A.

7.1 Presupuesto

El siguiente presupuesto fue realizado con todos los elementos mencionados anteriormente. Tienen como objetivo conocer un aproximado de la inversión inicial que se necesita realizar para el sistema de control de temperatura mediante variadores, los valores se indican en la tabla 4.4.1 y que se muestran en el Anexo 11.

Tabla 4.4.1 *Presupuesto del sistema*

ITEM	DESCRIPCION	CANT.	V.UNIT. \$	V. TOTAL \$
1	PLC Logo Soft	1	250	250
2	Módulo de extensión Logo	2	150	300
3	Variador de frecuencia DANFOSS	4	1500	6000
4	Sensor inductivo	1	40	40
5	Controlador universal	4	150	600
6	Cable #14	4	30	120
7	Potenciómetro 10k ohm	4	15	60
8	Relé 8 pines	4	10	40
9	Luz piloto	8	8	64
10	Sensor de llama	4	20	80
11	Cable de comunicación	1	100	100
12	Programación de PLC	1	400	400
13	Programación de variador	4	300	1200
14	Mano de obra	1	600	600
VALOR TOTAL				\$ 9854

Fuente: *Autor*

7.2 Consumo actual de energía y de combustibles

Es necesario determinar el consumo actual del acondicionador de envases de vidrio, para de esta manera realizar una comparación con la inversión inicial que necesita el sistema de control de temperatura mediante variadores. Este cálculo será realizado de acuerdo a las tarifas fijadas para los grandes consumidores como la fábrica CRIDESA determinado por el estado Ecuatoriano, el cargo tarifario de energía y combustibles se muestran en la tabla 7.2.

Tabla 7.2 Rubro por energía y combustibles

		Valor Mensual (\$)
Energía Eléctrica	KW	0,096
Diésel	gal	1,3
Gas Licuado (GLP)	kg	0,6
Gas Natural (GN)	m3	6,33

Fuente: *Autor*

De acuerdo con el cargo tarifario, se realizara una estimación del consumo mensual que existe en la actualidad por parte del acondicionador de envases de vidrio. En las siguientes tablas se resumen los valores a pagar mensualmente por parte de cada variable de nuestro sistema de control.

Para calcular la estimación del cargo por energía eléctrica, se asumió un valor de \$ 0.096 por KW de consumo, del levantamiento de información se obtiene el estimado mensual del consumo energético, en la tabla 7.2.1 se muestra el valor a pagar por el rubro de energía eléctrica.

Tabla 7.2.1 Rubro por energía

Energía		
KW/ mes	\$ KW	Total
31669,7	0,096	\$ 3040,2912

Fuente: *Autor*

Para conocer la estimación del cargo por diésel, se asumió un valor de \$ 1,3 por galón de consumo, del levantamiento de información se obtiene el estimado mensual del consumo de diésel, en la tabla 7.2.2 se muestra el valor a pagar por el rubro del diésel.

Tabla 7.2.2 *Rubro por diésel*

Diésel		
galones/ mes	\$ galón	Total
2665,66	1,3	\$ 3465,358

Fuente: *Autor*

Para definir la estimación del cargo por GLP, se asumió un valor de \$ 0,60 por kilogramo de consumo, del levantamiento de información se obtiene el estimado mensual del consumo de GLP, en la tabla 7.2.3 se muestra el valor a pagar por el rubro del GLP.

Tabla 7.2.3 *Rubro por GLP*

GLP		
kg/ mes	\$ Kg	Total
4203	0,6	\$ 2521,8

Fuente: *Autor*

Para calcular la estimación del cargo por GN, se asumió un valor de \$ 6,33 por m3 de consumo, del levantamiento de información se obtiene el estimado mensual del consumo de GN, en la tabla 7.2.4 se muestra el valor a pagar por el rubro del GN.

Tabla 7.2.4 *Rubro por GLP*

GN		
m3/ mes	\$ m3	Total
283,68	6,33	\$ 1795,6944

Fuente: *Autor*

Podemos observar que, por efecto del consumo de energía y combustibles, el acondicionador de envases de vidrio desembolsa la cantidad mostrada en la figura 7.2.5, que nos da un valor a pagar mensualmente de \$10.823,14.

Tabla 7.2.5 Rubro por GLP

Rubro	Valor
Energía	\$ 3.040,29
Diésel	\$ 3.465,36
GLP	\$ 2.521,80
GN	\$ 1.795,69
Total Mensual	\$ 10.823,14

Fuente: *Autor*

7.3 Beneficios obtenidos con el nuevo sistema

Para definir el ahorro al optimizar el acondicionador de envases de vidrio con el sistema de control de temperatura mediante variadores se consideró un porcentaje de reducción de costos de operación de cada una de las variables del sistema, a continuación en la tabla 7.3 se muestran los costos estimados de ahorro mensuales del acondicionador.

Tabla 7.3 Beneficios de Sistema de Control mediante Variadores

Rubro	Valor	% Ahorro	Sistema	Diferencia
Energía	\$ 3.040,29	30	\$ 2.128,20	\$ 912,09
Diésel	\$ 3.465,36	15	\$ 2.945,55	\$ 519,80
GLP	\$ 2.521,80	15	\$ 2.143,53	\$ 378,27
GN	\$ 1.795,69	15	\$ 1.526,34	\$ 269,35
Total Mensual	\$ 10.823,14		\$ 8.743,63	\$ 2.079,52

Fuente: *Autor*

Con el sistema de control de temperatura mediante variadores seremos capaces de ahorrar, siempre y cuando se haya cubierto la deuda de la inversión inicial que necesita el sistema de control para poderlo implementar. Para calcular el tiempo que necesitaremos para hacer que nuestra deuda desaparezca por efecto del ahorro de energía y combustibles, necesitamos relacionar estos dos valores y usaremos la siguiente ecuación (3):

$$\text{Tiempo} = \frac{\text{Inversión}}{\text{Ahorro}} \quad (3)$$

Reemplazando los valores en la ecuación (3) obtendremos:

$$\text{Tiempo} = \frac{9854}{2079,52} = 4,73 \text{ meses} \quad (3)$$

Según los valores obtenidos de la ecuación (3) se concluye que después de 4,73 meses el valor de la inversión inicial habrá desaparecido y a partir de ahí se considerará como ganancia todo el ahorro mensual que genera el sistema de control de temperatura mediante variadores. Se estima entonces que el beneficio económico del sistema estaría alrededor de \$24.954,24 anuales después de haber pagado la inversión, adicionalmente de los beneficios en el funcionamiento de los equipos y su vida útil.

CAPITULO 8

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 Conclusiones

El acondicionador de envases de vidrio es un complejo sistema que regula la temperatura de los envases con la finalidad de disminuir las tensiones generadas en el proceso de formación y que está conformado por múltiples subsistemas. Para realizar el estudio y diseño de un sistema de control fue tomado en consideración el requerimiento de los operadores, las necesidades de reducir el consumo energético y aumentar la eficiencia del acondicionador. El estudio del sistema aporta como resultado las siguientes conclusiones:

- La recopilación de la información técnica de los elementos que conforman el acondicionador de vidrio incide positivamente en la selección de los nuevos elementos que se utilizaron para la automatización del acondicionador.
- El diseño de los planos de control, programas de cada etapa en el PLC y los diagramas eléctricos de cada uno de los sistemas complementan en gran medida la estructura de la optimización.
- La repotenciación del tablero eléctrico y sus elementos extenderá la vida útil del sistema que controla las funciones del acondicionador influyendo en la capacidad de trabajo de todo el equipo, incrementando sus funciones y control del proceso.
- Obtener el control centralizado de los subsistemas en el tablero principal y la automatización del acondicionador mejora significativamente su funcionamiento. El diseño del sistema y su aplicación ayudaran a recuperar eficiencia y reducir el tiempo de trabajo de los elementos.
- La adaptación del PLC Logo influirá en la unión de los subsistemas y su funcionamiento garantiza el cumplimiento de los requerimientos establecidos por los operadores y la empresa.

- Los resultados a obtener cumplirán el objetivo general de esta optimización, la automatización del acondicionador de vidrio concentrando en cada módulo el calor generado por los quemadores logrando un mayor desempeño y disminución del consumo energético.

La automatización del sistema en general incrementara de manera significativa la eficiencia en todas las tareas ejecutadas en el acondicionador de envases de vidrio, y logrará niveles de confiabilidad y seguridad. De esta manera se justifica la inversión a realizar y se garantiza su recuperación.

8.2 Recomendaciones

Se sugiere aprovechar la ventaja que ofrece la automatización de sistemas compatibles como los demás acondicionadores para realizar una interconexión de los equipos. En principio adaptar los subsistemas del acondicionador, para luego expandirse al resto de equipos con la finalidad de contar con una sala de control en la empresa, donde se pueda apreciar en tiempo real la información del estado de los procesos y de la producción.

Se recomienda realizar mantenimientos periódicos a los equipos para su óptimo funcionamiento, tanto a motores como a elementos de control que están instalados en el acondicionador de vidrio y que están involucrados directamente con la automatización.

Se sugiere involucrar al personal operativo del acondicionador para que se familiarice con el manejo de los nuevos elementos para que el aprendizaje y la adaptación no afecten en la eficiencia del proceso.

ANEXOS

DIAGRAMAS ELÉCTRICOS

A continuación se muestra el detalle de los diagramas eléctricos de los sistemas automatizados del acondicionador de envases de vidrio.

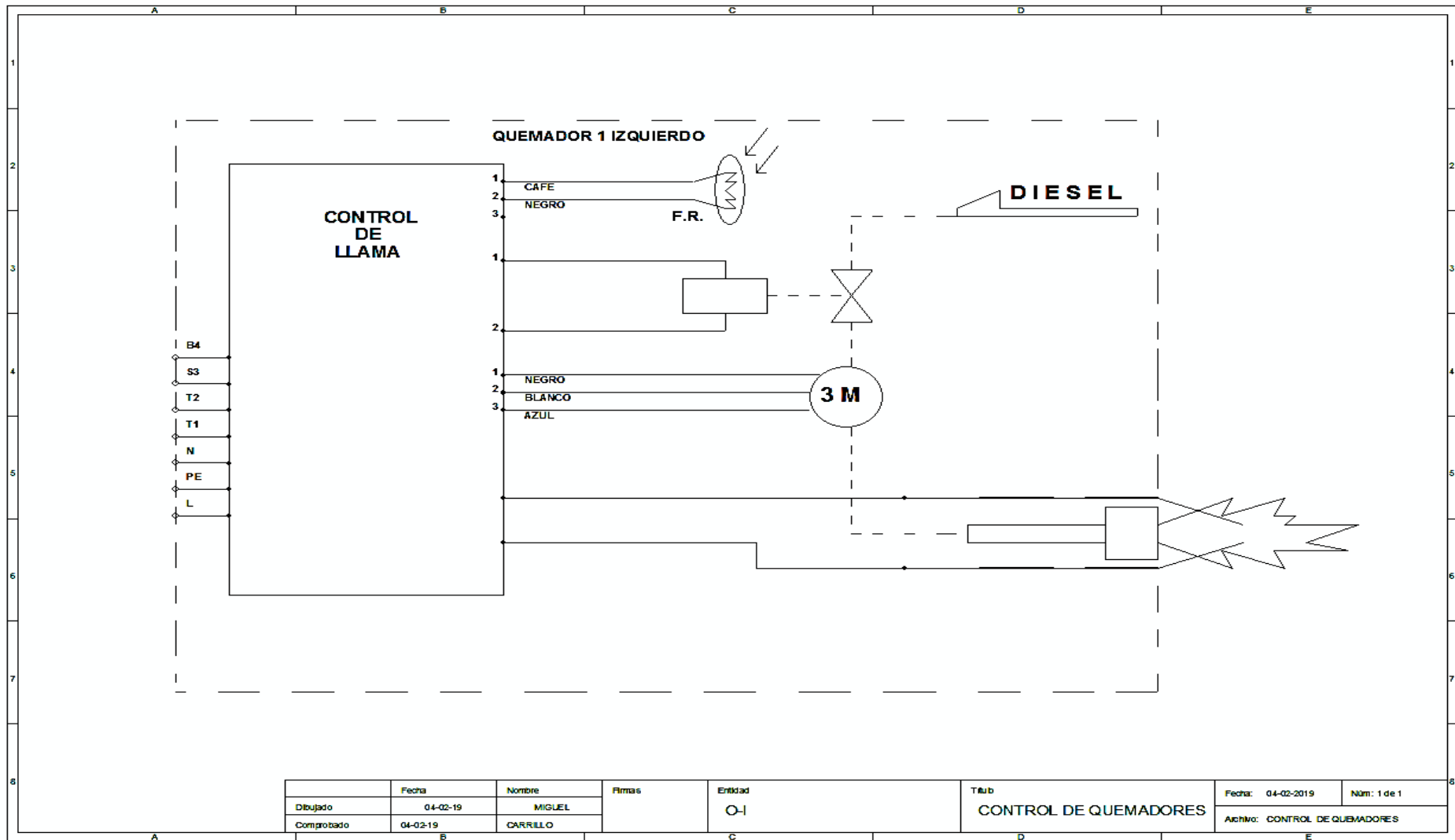
- Anexo 1. Diagrama eléctrico del control de quemadores
- Anexo 2. Diagrama eléctrico del control de la malla
- Anexo 3. Diagrama eléctrico del control de temperatura
- Anexo 4. Diagrama de conexiones eléctricas del PLC Logo Soft
- Anexo 5. Diagrama eléctrico de control de ventiladores de recirculación
- Anexo 6. Diagrama eléctrico de fuerza de motores
- Anexo 7. Diagrama eléctrico de referencia de los variadores.

TABLAS

Se detalla a continuación tablas de configuraciones de los sistemas automatizados del acondicionador de envases de vidrio.

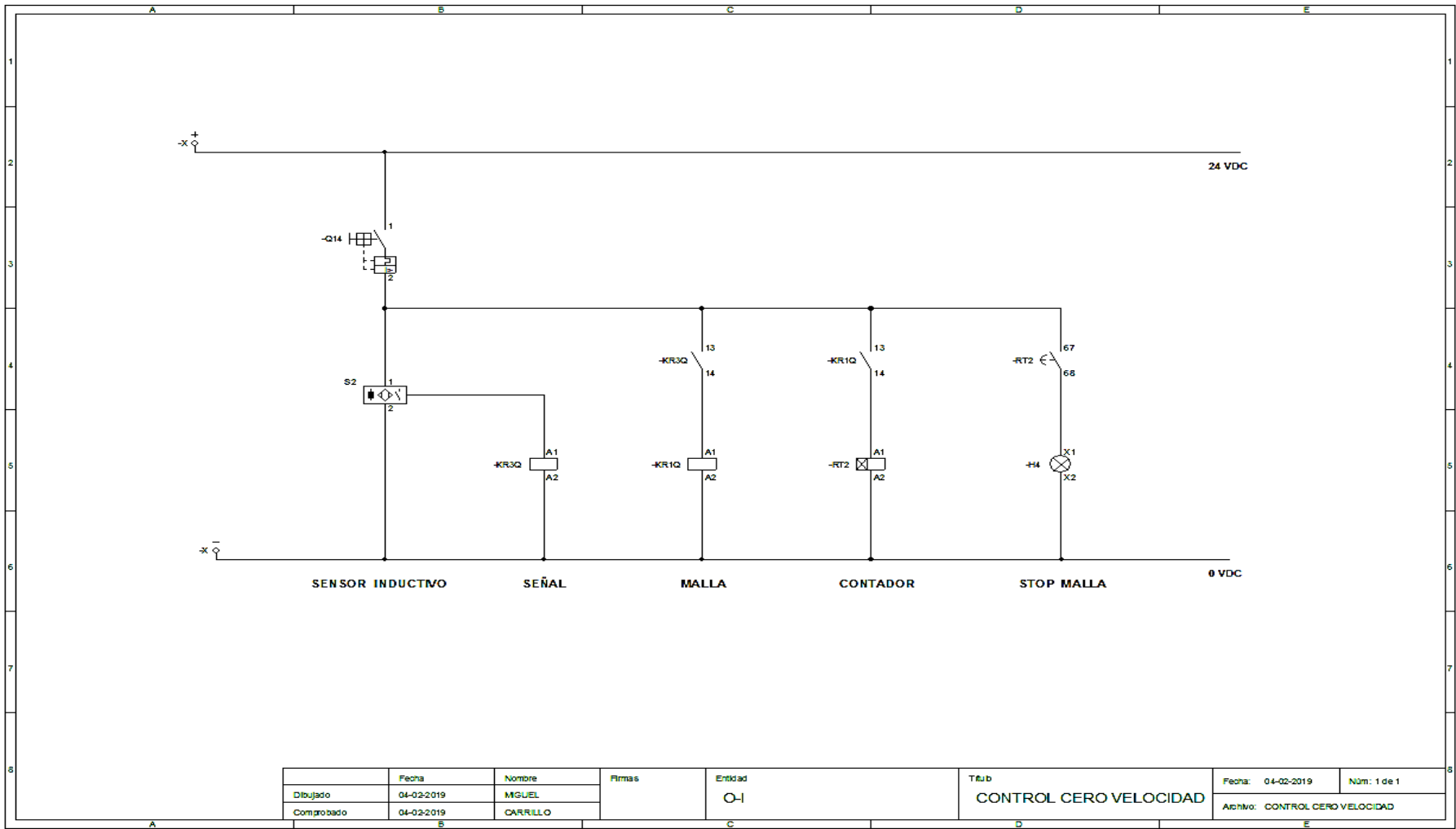
- Anexo 8. Características de los variadores Danfoss
- Anexo 9. Tipos de termocuplas y sus características
- Anexo 10. Programación del controlador de temperatura Eurotherm
- Anexo 11. Presupuesto del sistema de control

ANEXO 1
DIAGRAMA ELÉCTRICO DEL CONTROL DE QUEMADORES



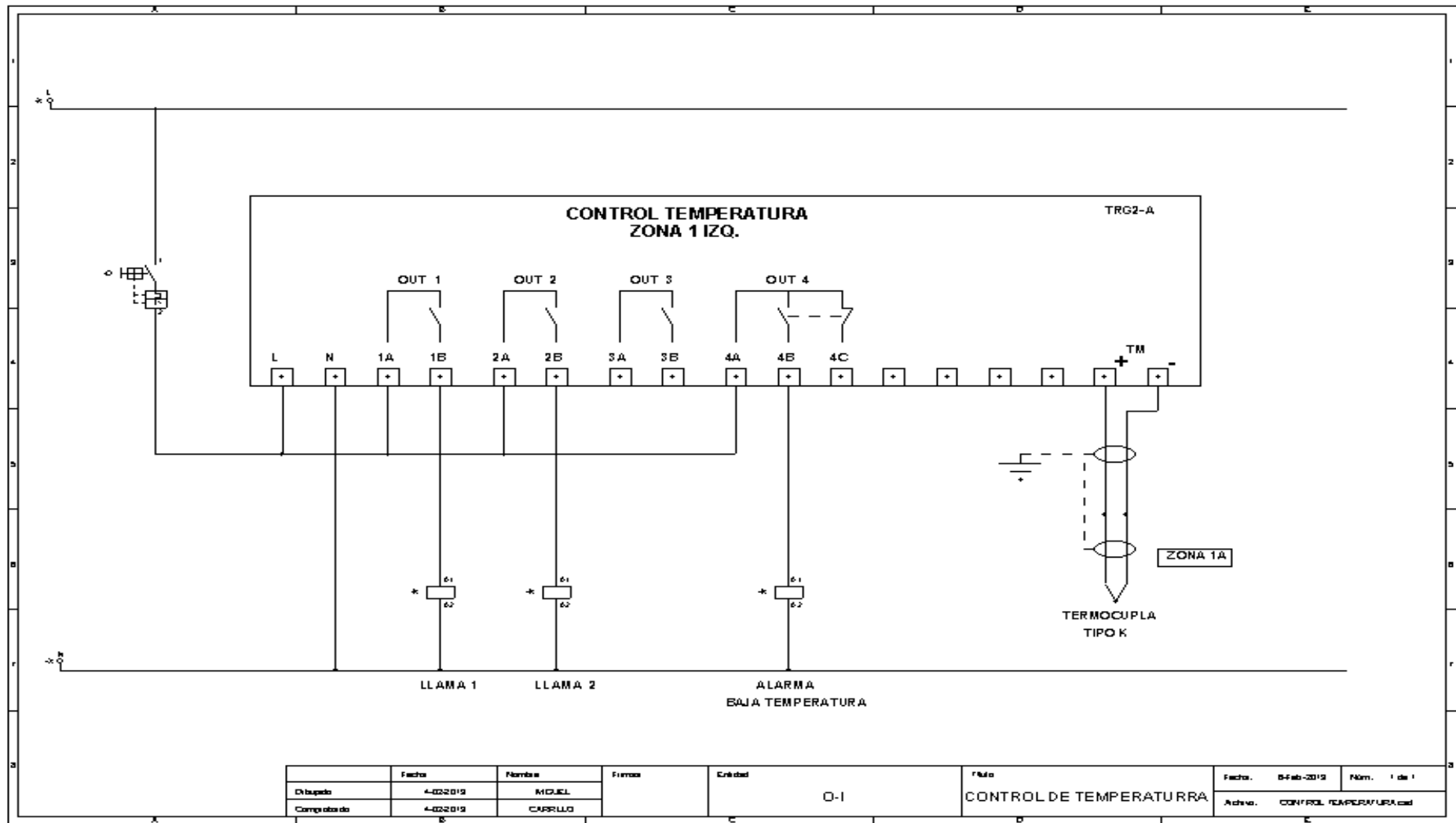
ANEXO 2

DIAGRAMA ELÉCTRICO DEL CONTROL DE LA MALLA



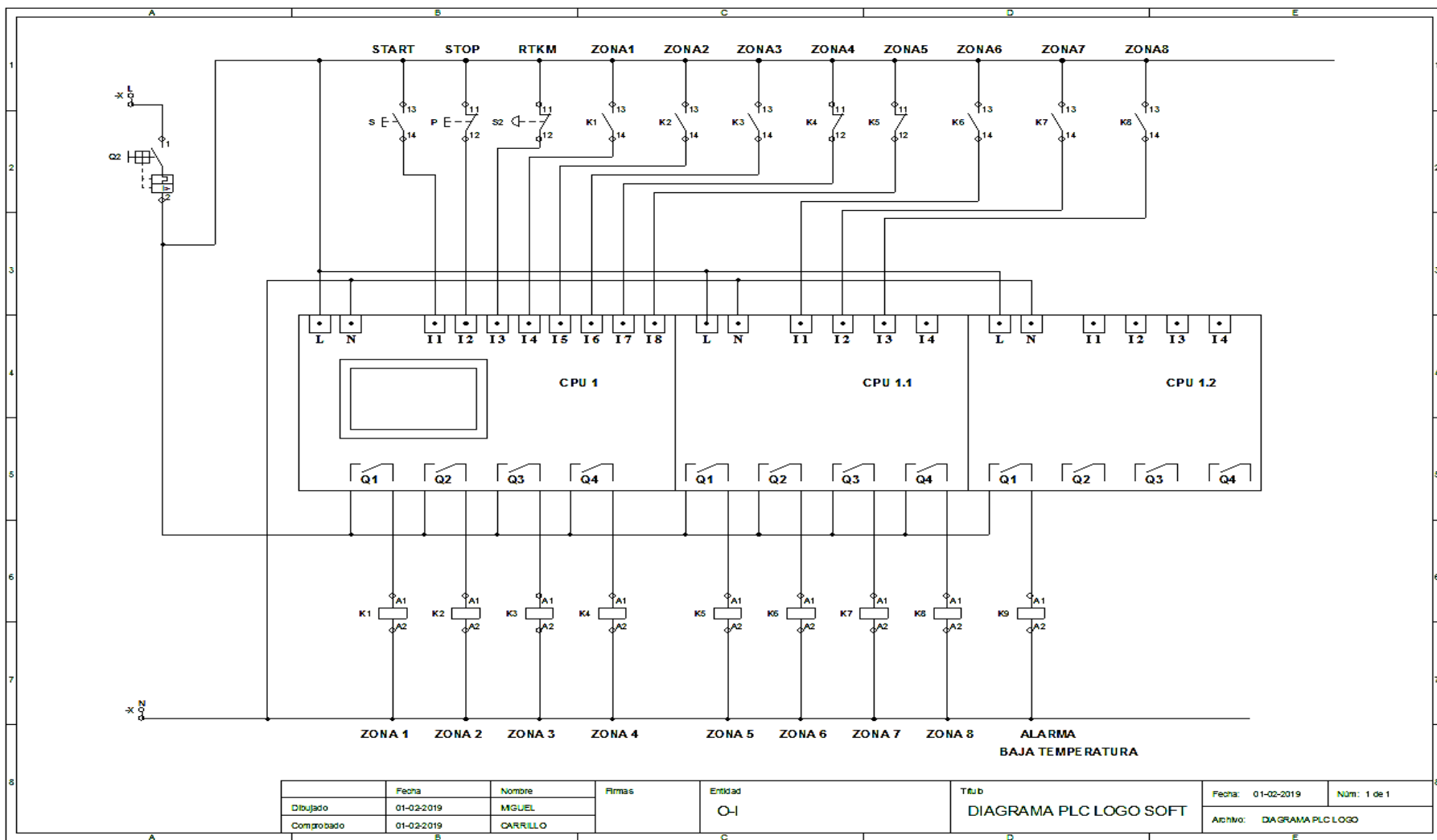
ANEXO 3

DIAGRAMA ELÉCTRICO DEL CONTROL DE TEMPERATURA



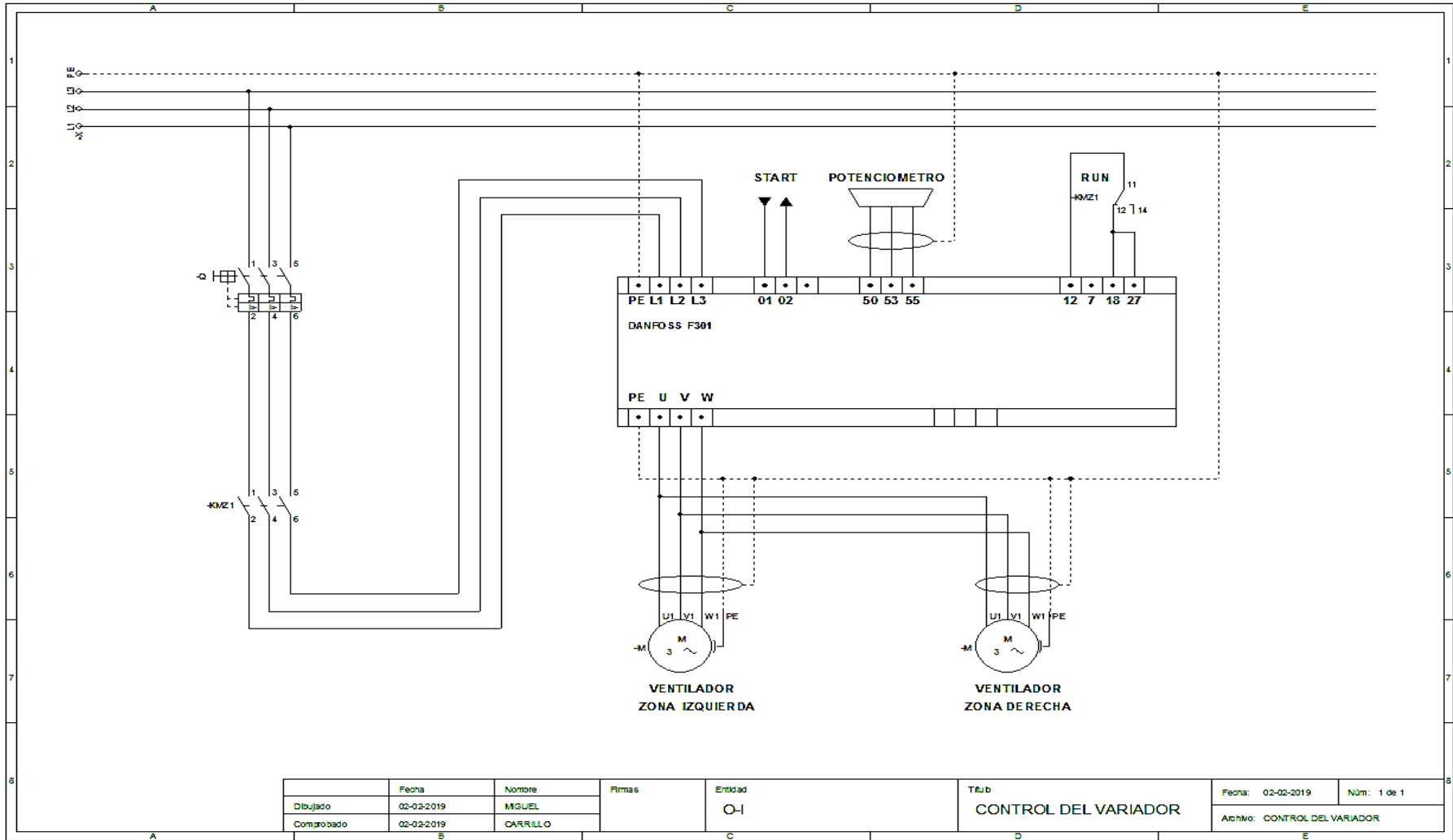
ANEXO 4

DIAGRAMA DE CONEXIONES ELÉCTRICAS DEL PLC LOGO



ANEXO 5

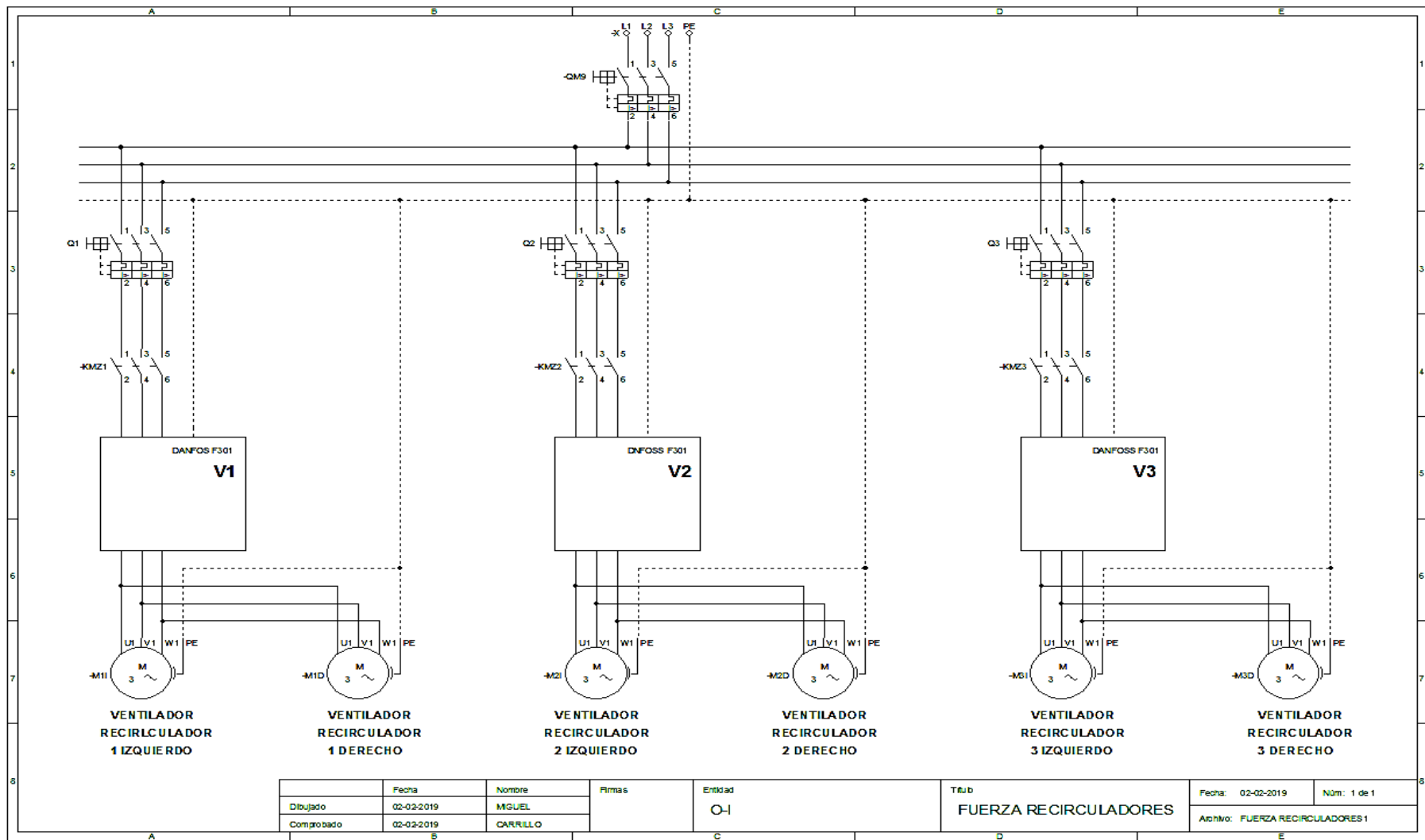
**DIAGRAMA ELÉCTRICO DE CONTROL DE VENTILADORES DE
RECIRCULACIÓN**



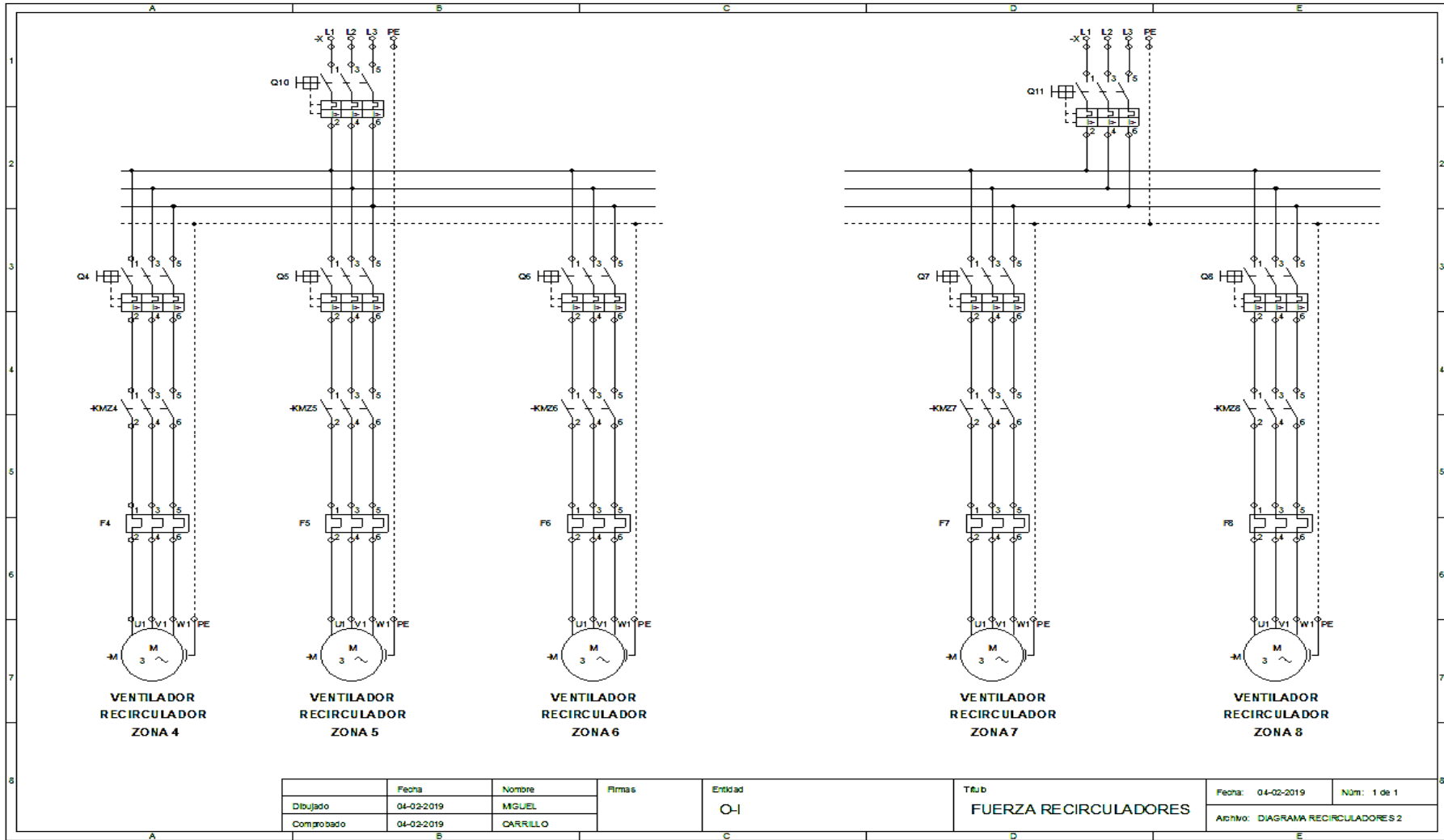
	Fecha	Nombre	Firmas	Entidad	T&U	Fecha: 02-02-2019	Núm: 1 de 1
Dibujado	02-02-2019	MGUEL		O-I	CONTROL DEL VARIADOR	Archivo: CONTROL DEL VARIADOR	
Comprobado	02-02-2019	CARRILLO					

ANEXO 6

DIAGRAMA ELÉCTRICO DE FUERZA DE MOTORES



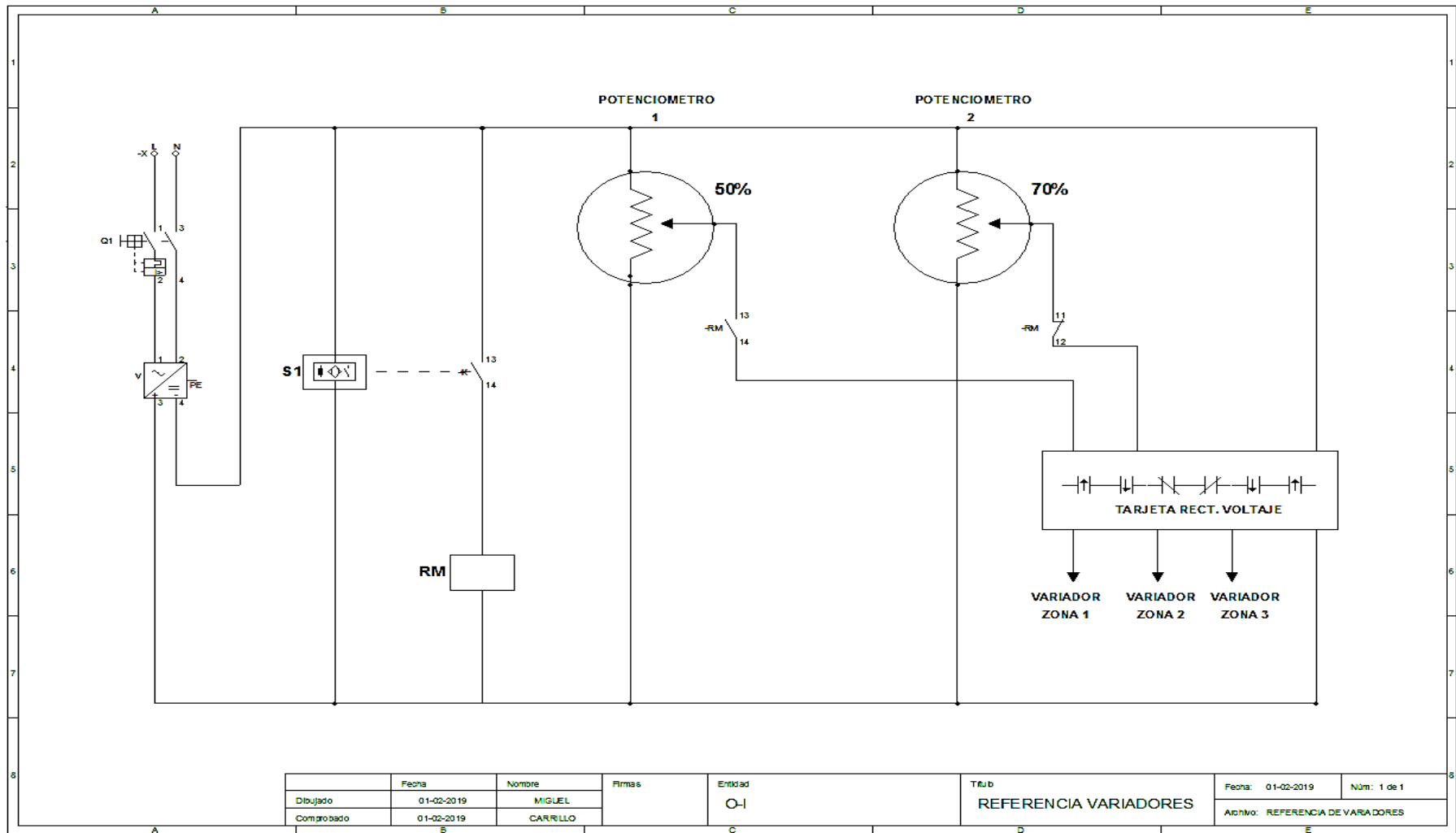
	Fecha	Nombre	Firmas	Entidad	Té/b	Fecha:	Núm: 1 de 1
Dibujado	02-02-2019	MGUÉL		O-	FUERZA RECIRCULADORES	02-02-2019	Núm: 1 de 1
Comprobado	02-02-2019	CARRILLO					



	Fecha	Nombre	Firmas	Entidad	Título	Fecha:	Núm:
Dibujado	04-02-2019	MGUEL		U-I	FUERZA RECIRCULADORES	04-02-2019	1 de 1
Comprobado	04-02-2019	CARRILLO				Archivo: DIAGRAMA RECIRCULADORES 2	

ANEXO 7

DIAGRAMA ELÉCTRICO DE REFERENCIA DE LOS VARIADORES



	Fecha	Nombre	Firmas	Entidad	Título	Fecha: 01-02-2019	Núm: 1 de 1
Dibujado	01-02-2019	MIGUEL		O-I	REFERENCIA VARIADORES		
Comprobado	01-02-2019	CARRILLO				AdjNo: REFERENCIA DE VARIADORES	

ANEXO 8

CARACTERISTICAS DE LOS VARIADORES DANFOSS

Alimentación de red 3 x 380-500 V CA (FC 302), 3 x 380-480 V CA (FC 301)											
	PK 37	PK 55	PK75	P1K1	P1K5	P2K2	P3K0	P4K0	P5K5	P7K5	
FC 301/FC 302											
Eje de salida típico [kW]	0,37	0,55	0,75	1,1	1,5	2,2	3	4	5,5	7,5	
Protección IP20/IP21	A2	A2	A2	A2	A2	A2	A2	A2	A3	A3	
Protección IP20 (FC 301 solo)	A1	A1	A1	A1	A1						
Protección IP55, 66	A4/A5	A4/A5	A4/A5	A4/A5	A4/A5	A4/A5	A4/A5	A4/A5	A5	A5	
Intensidad de salida											
Sobrecarga alta del 160 % durante 1 min.											
Eje de salida [kW]	0,37	0,55	0,75	1,1	1,5	2,2	3	4	5,5	7,5	
Continua (3 x 380-440 V) [A]	1,3	1,8	2,4	3	4,1	5,6	7,2	10	13	16	
Intermitente (3 x 380-440 V) [A]	2,1	2,9	3,8	4,8	6,6	9,0	11,5	16	20,8	25,6	
Continua (3 x 441-500 V) [A]	1,2	1,6	2,1	2,7	3,4	4,8	6,3	8,2	11	14,5	
Intermitente (3 x 441-500 V) [A]	1,9	2,6	3,4	4,3	5,4	7,7	10,1	13,1	17,6	23,2	
Continua kVA (400 V CA) [kVA]	0,9	1,3	1,7	2,1	2,8	3,9	5,0	6,9	9,0	11,0	
Continua kVA (460 V CA) [kVA]	0,9	1,3	1,7	2,4	2,7	3,8	5,0	6,5	8,8	11,6	
Intensidad de entrada máx.											
Continua (3 x 380-440 V) [A]	1,2	1,6	2,2	2,7	3,7	5,0	6,5	9,0	11,7	14,4	
Intermitente (3 x 380-440 V) [A]	1,9	2,6	3,5	4,3	5,9	8,0	10,4	14,4	18,7	23,0	
Continua (3 x 441-500 V) [A]	1,0	1,4	1,9	2,7	3,1	4,3	5,7	7,4	9,9	13,0	
Intermitente (3 x 441-500 V) [A]	1,6	2,2	3,0	4,3	5,0	6,9	9,1	11,8	15,8	20,8	
Especificaciones adicionales											
Sección transversal máx. del cable IP20, 21 (red, motor, freno y carga compartida) [mm ² (AWG)] ²⁾	4,4 (12,12,12) (mín. 0,2(24))										
Sección transversal máx. del cable IP55, 66 ³⁾ (red, motor, freno y carga compartida) [mm ² (AWG)]	4,4 (12,12,12)										
Sección transversal máx. del cable ³⁾ con desconexión	6,4 (10,12,12)										
Pérdida estimada de potencia a carga máx. nominal [W] ⁴⁾	35	42	46	58	62	88	116	124	187	255	
Peso, protección IP20	4,7	4,7	4,8	4,8	4,9	4,9	4,9	4,9	6,6	6,6	
Protección IP55, 66	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5	14,2	14,2	
Rendimiento ⁴⁾	0,93	0,95	0,96	0,96	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	

0,37-7,5 kW solamente disponible como 160 % de sobrecarga alta.

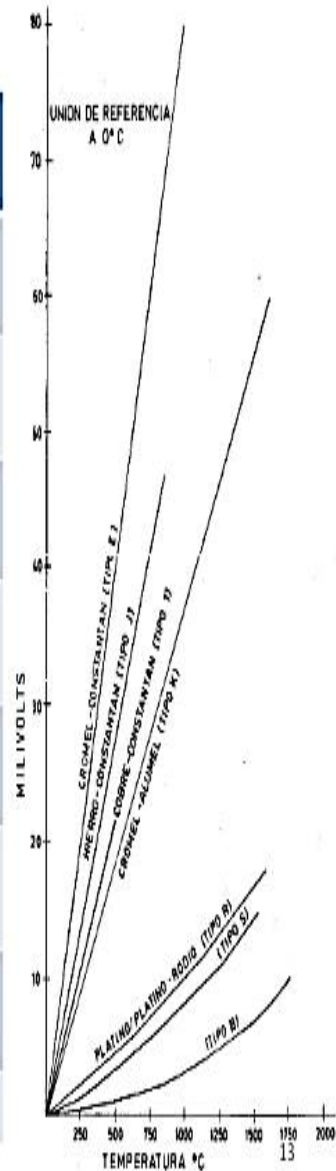
ANEXO 9

TIPOS DE TERMOCUPLAS Y SUS CARACTERÍSTICAS

Termopar - Termocupla


Tipo	Elemento	Rango	f.e.m.
J	Fe - Constantan	-210°C a 760°C	-8.096 mV a 42.919 mV
K	Cromel - Alumel	-270°C a 1200°C	-6.458 mV a 48.838 mV
E	Cr - Constantan	-270°C a 1000°C	-9.835 mV a 76.373 mV
T	Cu - Constantan	-270°C a 400°C	-6.258 mV a 20.872 mV
N	Nicrosil - Nisil	-270 °C a 1300°C	-4.345 mV a 47.513 mV
S	Platino - Rodio	-50°C a 1768°C	-0.236 mV a 18.693 mV
R	Platino - Rodio	-50°C a 1768°C	-0.226 mV a 21.101 mV
B	Rodio	0°C a 1820°C	0 mV a 13820 mV

Ing. Alfonso Cubillos



ANEXO 10

PROGRAMACIÓN DEL CONTROLADOR DE TEMPERATURA EUROTHERM

Parameter symbol	Item	Meaning	Description	Initial value prior to delivery
P-n1	P-n1	Control operation	Setting of direct/reverse operation, and setting of burnout direction	Ordering specification
P-n2	P-n2	Input type	Setting of input signal type	Ordering specification
P-dF	P-dF	Input filter time constant	Half of code value is time constant (sec.) (code : 0 to 201)	Code 20 (time constant : 10 sec)
P-SL	P-SL	Lower limit of input range	Setting of lower limit value of input range	Ordering specification
P-SU	P-SU	Upper limit of input range	Setting of upper limit value of input range	Ordering specification
P-Ab	P-Ab	Alarm type	Setting of alarm operation type	Ordering specification Unless otherwise specified, the function code 79(high/low limit deviation alarm) is set.
P-An	P-An	Hysteresis of alarm	Setting of hysteresis width then alarm output ON-OFF Setting range: 0-255°C/°F	1
P-dP	P-dP	Decimal point position	Selection of the position of decimal point on the PV and SV indicator  Code 0 : without decimal point Code 2 Code 4 Code 8	Ordering specification
P-48	P-48		Parameter peculiar to the model. <i>Do not change.</i>	Specified by manufacturer
P-CT	P-CT	Setting of heater rated voltage	When using heater burnout alarm, be sure to set the rated power voltage for the controller (setting range: 85-265V)	100
PVOF	PVOF	PV offset	PV indicated value is shifted, however PV is unchanged. (Setting range: -1999 to +2000)	0
SVOF	SVOF	SV offset	SV indicated value is shifted, however SV is unchanged. (Setting range: -1999 to +2000)	0
P-F	P-F	°C/°F selection of measured value input	Only the measured values are changed over, so other parameters need to be changed. °C display : 0 °F display : 1	Ordering specification $PV (^{\circ}F) = \frac{9}{5} PV (^{\circ}C) + 32$
PLC2	PLC2		Setting need not be changed	Specified by manufacturer
PHC2	PHC2		Same as above	Specified by manufacturer
dSP1	dSP1	Skipping first block parameters	Used to set desired parameters P, I, D, AL, AH, TC, HYS for display.	
dSP2	dSP2		Same as above for Hb, AT, TC2, COOL, db, PLC1, PHC1, PCUT.	
dSP3	dSP3		Same as above for BAL, AR	

ANEXO 11**PRESUPUESTO DEL SISTEMA DE CONTROL**

ITEM	DESCRIPCION	CANT.	V.UNITARIO \$	V. TOTAL \$
1	PLC Logo Soft	1	250	250
2	Módulo de extensión Logo	2	150	300
3	Variador de frecuencia DANFOSS	4	1500	6000
4	Sensor inductivo	1	40	40
5	Controlador universal	4	150	600
6	Cable #14	4	30	120
7	Potenciómetro 10k ohm	4	15	60
8	Relé 8 pines	4	10	40
9	Luz piloto	8	8	64
10	Sensor de llama	4	20	80
11	Cable de comunicación	1	100	100
12	Programación de PLC	1	400	400
13	Programación de variador	4	300	1200
14	Mano de obra	1	600	600
	VALOR TOTAL			\$ 9854

BIBLIOGRAFÍA

- Antonini. (2010). *Manual de Operacion :Horno de Recocido*. Firenze.
- Cardenas , O. (2001). *Transductores Industriales*. Caracas.
- Danfoss Industry. (2012). *Guia de diseño Danfoss FC 300*. Los Angeles.
- Festo. (2018). *Festo*. Obtenido de www.festo.com/es
- Monsalve, P. (2005). *Proceso de Elaboracion del Vidrio: El Recocido*. Zipaquirá.
- Mora, P. (2003). *Transformadores y maquina sincronica*. Caracas.
- Ogata, K. (2010). *Ingeniería de control moderna*. Prentice Hall.
- O-I Colombia. (2002). *Proceso de Elaboracion del Vidrio*. Bucaramanga.
- O-I Ecuador. (2006). *Sistema de Gestión de Calidad*. Guayaquil.
- Owens-Illinois Ecuador. (2010). *Optimización de Archas y mejores Prácticas*. Guayaquil.
- Owens-Illinois Venezuela. (2009). *Reglamento Interno de Owens-Illinois de venezuela*. Merida.
- Parra, P., Cardenas, D., Vega, N., Valencia , E., & Solano , E. (2018). Feeder Configuration and Coordination of Protections for an Electric Substation. *IEEE 978-1-5386-5586-3/18*.
- Parra, P., Jimenez, J., Nuñez, K., & Vega, N. (2017). Prototype of Exoskeleton Used in Child Rehabilitation with one Degree of Freedom. *IEEE 978-1-5386-3123-2/17*.
- Parra, P., Negrete, T., Llaguno , J., & Vega , N. (2018). Computer Vision Techniques Applied in the Estimation of the Cocoa Beans Fermentation Grade. *IEEE 978-1-5386-8372-9/18*.
- Parra, P., Negrete, T., Vega , N., & Llaguno, J. (2018). Computer vision Methods in the Process of fermentation of the Cocoa Bean. *IEEE 978-1-5386-6657-9/18*.
- Pennekamp. (2005). *Manual de funcionamiento del horno de recocido*. Firenze.
- Rangel Castillo, H. (2010). *Informe de Practica*. Envigado.
- Siemens. (2012). *Manual Logo Siemens*. Los Angeles.
- Valecillos B., L. (2007). *Horno Recocido y tratamiento Superficial*. Merida.
- Valera , N. (Mayo de 2006). *O-I de Venezuela*. Obtenido de <http://www.oidv.com>

Varimak. (Julio de 2006). *Varimak*. Obtenido de www.varimak.com

Vega , N., Parra , P., Cordova , L., Andramuño, J., & Alvarez, J. (2018). Cascade Control Algorithm developed with Embedded Systems. *IEEE 978-1-5386-5586-3/18*.

Vega , N., Parra, P., Negrete, T., Fuentes , P., & Peñafiel, J. (2018). Magnetic Levitation System with Interface for Posicion Control. *Conference for Engineering, education, and Technology*. Lima.

Vega, N., Parra, P., & Martillo, D. (2017). Didactic Equipment Developed with Embedded Systems for the Learning of Engineering. *IEEE 978-1-5386-3123-2/17*.

Vega, N., Parra, P., Cordova , L., Andramuño, J., & Navarrete , V. (2018). Adaptive Control Implemented with Embedded Sustems . *IEEE 978-1-5386-5586-3/18*.

GLOSARIO

- Acondicionador de envases de vidrio: es una parte del proceso de manufactura de vidrio para empaque, decorativo, refractario y de otros tipos de vidrio. Un acondicionador de vidrio asegura la curva de temperatura controlada de los envases de vidrio que elimina la tensión interna del material.
- Recocido: Un proceso de calentamiento y enfriamiento controlado, diseñado para liberar tensiones internas debidas a los esfuerzos residuales. Los envases deben ser recocidos, de lo contrario la botella se puede quebrar espontáneamente cuando es rasgada o impactada en ciertas partes.
- GLP: Gas licuado propano
- GNL: Gas natural liquido
- Ventilador de recirculación: Son parte esencial del funcionamiento del acondicionador de envase, su función es aumentar o disminuir la temperatura dentro de la zona en que se encuentra y a su vez transferir el calor a los envases que son trasladados por la malla transportadora.
- Curva de Recocido: La curva de recocido está basada en tiempo y temperatura, y determina los “set-point” de las zonas de temperatura, velocidad de malla, tiempo en el túnel y temperatura de salida.
- Tiempo de Archa: Tiempo transcurrido desde que el envase entra al acondicionador hasta su salida del descargador.

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Carrillo Galeas, Miguel Ángel**, con C.C: # 0918857830 autor del trabajo de titulación: **“Estudio y diseño de un sistema de control de temperatura mediante variadores que optimizan la producción de envases de vidrio en la compañía Cridesa”**, previo a la obtención del título de **Ingeniería en Eléctrico-Mecánica** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 14 de marzo del 2019

f. _____

Nombre: **Carrillo Galeas, Miguel Ángel**

C.C: **0918857830**



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Estudio y diseño de un sistema de control de temperatura mediante variadores que optimizan la producción de envases de vidrio en la compañía Cridesa		
AUTOR(ES)	Miguel Ángel, Carrillo Galeas		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Luis Ezequiel, Palau De la Rosa		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
CARRERA:	Ingeniería en Eléctrico-Mecánica		
TITULO OBTENIDO:	Ingeniero en Eléctrico-Mecánica con mención en gestión empresarial industrial		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	14 de marzo del 2019	No. DE PÁGINAS:	89
ÁREAS TEMÁTICAS:	Automatización, electricidad, ahorro energético		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Acondicionador de envases de vidrio, Ventiladores de recirculación, variadores de frecuencia, controladores de temperatura, Quemadores, PLC's , sensor Inductivo.		

RESUMEN/ABSTRACT

El Acondicionador de envases de vidrio con el paso del tiempo pierde eficiencia aumentando el consumo de energía y combustible necesario para mantener la temperatura en cada periodo de trabajo; esto produce defectos críticos que afectan la productividad y calidad del producto final. El principal objetivo es optimizar el acondicionador de envases de vidrio mediante un diseño de control de temperatura por medio de variadores, el cual se ejecutara en varias etapas comenzando por la recopilación de información de las condiciones actuales de funcionamiento, seguido por el diseño de la estructura de control y finaliza con el cálculo de los elementos que repotencian el sistema eléctrico. La metodología de investigación que se utiliza es documental, descriptiva, experimental y aplicada. Asimismo, se realizara un análisis económico que consiste en una aproximación del consumo eléctrico en el acondicionador para estimar el tiempo de recuperación de la inversión y determinar las ventajas de la optimización. Finalmente, con un adecuado análisis de las variables se espera lograr que la optimización del sistema ayude a mejorar la vida útil del equipo y cumplir los requerimientos de eficiencia, productividad y calidad del producto final exigido por el cliente.

ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-9-91608778	E-mail: m.carrillo13@hotmail.com
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::	Nombre: Orlando Philco Asqui	
	Teléfono: +593-4-980960875	
	E-mail: Luis.philco@cu.ucsg.edu.ec	
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA		
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):		
Nº. DE CLASIFICACIÓN:		
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):		