

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

*Trabajo de titulación previo
a la obtención del título de
Ingeniero Electrónico*

PROYECTO TÉCNICO CON ENFOQUE INVESTIGATIVO:
**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE CÁMARA DE
FERMENTACIÓN CONTROLADA ORIENTADA AL MEJORAMIENTO EN
LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE PAN”**

AUTORES:

HERNÁN SANTIAGO BERMEO SARMIENTO

ROMARIO ENRIQUE TOAPANTA VEGA

TUTOR:

ING. JULIO CÉSAR ZAMBRANO ABAD, MGST.

CUENCA - ECUADOR

2021

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Hernán Santiago Bermeo Sarmiento con documento de identificación N° 0105731731 y Romario Enrique Toapanta Vega con documento de identificación N° 0503271538, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE CÁMARA DE FERMENTACIÓN CONTROLADA ORIENTADA AL MEJORAMIENTO EN LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE PAN”**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: *Ingeniero Electrónico*, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, julio de 2021.



Hernán Santiago Bermeo Sarmiento

C.I. 0105731731



Romario Enrique Toapanta Vega

C.I. 0503271538

CERTIFICACIÓN

Yo, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE CÁMARA DE FERMENTACIÓN CONTROLADA ORIENTADA AL MEJORAMIENTO EN LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE PAN”**, realizado por Hernán Santiago Bermeo Sarmiento y Romario Enrique Toapanta Vega, obteniendo el *Proyecto Técnico con enfoque investigativo* que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, julio de 2021.



Ing. Julio César Zambrano Abad, Mgst.

C.I. 0301489696

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Hernán Santiago Bermeo Sarmiento con documento de identificación N° 0105731731 y Romario Enrique Toapanta Vega con documento de identificación N° 0503271538, autores del trabajo de titulación: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE CÁMARA DE FERMENTACIÓN CONTROLADA ORIENTADA AL MEJORAMIENTO EN LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE PAN”**, certificamos que el total contenido del *Proyecto Técnico con enfoque investigativo*, es de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, julio de 2021.



Hernán Santiago Bermeo Sarmiento

C.I. 0105731731



Romario Enrique Toapanta Vega

C.I. 0503271538

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, por darme la salud y la vida para seguir adelante en todos los proyectos propuestos.

A mi profesor director de tesis Ing. Julio Zambrano, sin su ayuda este trabajo de titulación no hubiese sido posible.

A la universidad Politécnica Salesiana.

Hernán Santiago Bermeo Sarmiento

A mis queridos padres Mario Toapanta y Luisa Vega quienes siempre estuvieron presentes brindándome su apoyo incondicional en todas las etapas de mi vida.

Romario Enrique Toapanta Vega

DEDICATORIAS

Este proyecto de tesis dedicó de manera muy especial a mis padres Rubén y Ana, ya que ellos han sido la principal fuente de motivación en mi vida, gracias por enseñarme el valor del trabajo, el esfuerzo y responsabilidad ya que eso ha sido un pilar fundamental en mi vida.

A mi hermano Fernando por brindarme su apoyo cuando más lo he necesitado.

A mi esposa Valeria por motivarme cada día con sus palabras de aliento y cariño

A mi compañero de tesis Romario por el apoyo brindado para la realización de este trabajo de titulación.

Hernán Santiago Bermeo Sarmiento

A mi madre Luisa Vega quién siempre me brindó su amor y dedicación en toda mi vida estudiantil, a mi padre Mario Toapanta quién siempre me inculco valores para ser un hombre de bien, a pesar que no me acompaña físicamente, todos sus consejos y sacrificios siempre vivirán en mi memoria.

A mi compañero de tesis Santiago por siempre mostrar dedicación y esfuerzo para cumplir con los objetivos propuestos.

A mis hermanos, familia y amigos.

Romario Enrique Toapanta Vega

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	I
DEDICATORIAS.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VI
ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
RESUMEN.....	X
INTRODUCCIÓN.....	XI
ANTECEDENTES DEL PROBLEMA DE ESTUDIO.....	XIII
JUSTIFICACIÓN (IMPORTANCIA Y ALCANCES).....	XIV
OBJETIVOS.....	XV
OBJETIVO GENERAL.....	XV
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	XV
CAPÍTULO 1: GENERALIDADES.....	1
1.1 GENERALIDADES DEL PAN.....	1
2.1 PROCESO DE ELABORACIÓN DEL PAN.....	2
3.1 FERMENTACIÓN.....	5
2.3.1 SACCHAROMYCES CEREVISIAE (LEVADURA INVOLUCRADA EN EL FERMENTO DE MASA PARA PAN).....	6
2.3.2 FERMENTACIÓN CONTROLADA.....	6
4.1 TECNOLOGÍA DISPONIBLE EN EL MERCADO NACIONAL PARA EL PROCESO DE FERMENTACIÓN.....	7
CAPÍTULO 2: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO DE LA CÁMARA.....	10
5.1 ESTRUCTURA DEL PROTOTIPO CÁMARA.....	10
6.1 DISEÑO DE LOS COMPONENTES Y PARTES.....	11
2.2.1 DISEÑO DE LA ETAPA DE REFRIGERACIÓN.....	11

2.2.2 DISEÑO DE LA ETAPA DE FERMENTACIÓN	12
2.2.3 DISEÑO DEL TABLERO DE CONTROL.....	14
2.2.4 PORTABANDEJAS	16
2.3 PROCESO CONSTRUCTIVO	17
2.3.1 PROCESO MECÁNICO	17
2.3.2 CONSTRUCCIÓN DE LA ETAPA DE REFRIGERACIÓN.....	21
2.3.3 CONSTRUCCIÓN DE LA ETAPA DE FERMENTACIÓN	26
2.3.4 PROCESO ELÉCTRICO.....	29
 CAPÍTULO 3: SISTEMAS DE CONTROL.....	 33
3.1 CONTROLADORES	33
3.1.1 CONTROLADOR MT-530E SUPER MARCA FULL GAUGE.....	33
3.1.2 CONTROLADOR TC-900E LOG MARCA FULL GAUGE.....	34
3.2 LAZOS DE CONTROL Y FUERZA	35
3.2.1 CONFIGURACIÓN DEL LAZO DE CONTROL EN CICLO DE CONGELACIÓN.....	36
3.2.2 CONFIGURACIÓN DEL LAZO DE CONTROL EN CICLO DE FERMENTACIÓN	36
3.2.3 CONEXIONES DE DIAGRAMAS DE FUERZA.....	37
3.3 SOFTWARE PARA LA SUPERVISIÓN Y MONITOREO DE VARIABLES EN TIEMPO REAL.....	38
3.4 DETALLES DEL CONTROL	42
 CAPÍTULO 4: PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	 44
4.1 MONITOREO Y SUPERVISIÓN DE VARIABLES EN TIEMPO REAL ...	44
4.1.1 MONITOREO EN LA ETAPA DE REFRIGERACIÓN.....	44
4.1.2 MONITOREO EN LA ETAPA DE FERMENTACIÓN	45
4.2 PRUEBA DE LEUDADO EN LA MASA-PAN.....	47
4.3 RESPUESTAS Y COMPORTAMIENTOS DEL SISTEMA DE CONTROL	
49	
4.3.1 ETAPA DE REFRIGERACIÓN	50
4.3.2 ETAPA DE FERMENTACIÓN	55
 CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	 61
 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	 62
 APÉNDICES.....	 63
 Apéndice A: MEDIDAS DE LA ESTRUCTURA MECÁNICA DEL PROTOTIPO	

Apéndice c: PARÁMETROS A PROGRAMAR	65
C.1 CONTROLADOR MT-530 E SUPER (CICLO FERMENTACIÓN).....	65
C.2 CONTROLADOR TC-900E LOG (CICLO REFRIGERACIÓN)	66

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. 1 Pan</i>	1
<i>Figura 1. 2 Porción de ingredientes para pan</i>	3
<i>Figura 1. 3 Amasadora Industrial</i>	3
<i>Figura 1. 4 Divisora Boleadora</i>	4
<i>Figura 1. 5 Formadora Francesa</i>	5
<i>Figura 1. 6 Hongo Saccchromyces Cerevisiae (Fermentación alcohólica)</i>	6
<i>Figura 1. 7 Cámara de fermentación [4].</i>	8
<i>Figura 1. 8 Cámara de Leudo L-16 [5]</i>	8
<i>Figura 1. 9 Cámara de Leudo o fermentación[6]</i>	9
<i>Figura 2. 1 Interacción de las etapas y componentes en el proceso de leudado de la masa</i>	10
<i>Figura 2. 2 Sistema de refrigeración</i>	11
<i>Figura 2. 3 Ubicación de la unidad condensadora en el prototipo</i>	12
<i>Figura 2. 4 Ubicación de la unidad condensadora en el prototipo</i>	12
<i>Figura 2. 5 Caldero en proceso de generación de vapor de agua</i>	13
<i>Figura 2. 6 Caldero de vapor para la generación de vapor</i>	13
<i>Figura 2. 7 Ubicación de componentes internos de la etapa de fermentación</i>	14
<i>Figura 2. 8 Tablero de control del prototipo</i>	15
<i>Figura 2. 9 Ubicación del Tablero de control en el prototipo</i>	15
<i>Figura 2. 10 Porta Bandejas de 14 latas</i>	16
<i>Figura 2. 11 Diseño final</i>	16
<i>Figura 2. 12 Estructura Cámara.</i>	17
<i>Figura 2.13 Estructura forrada con paneles</i>	18
<i>Figura 2. 14 Piso antideslizante.</i>	19
<i>Figura 2. 15 Puerta aislada.</i>	19
<i>Figura 2.16 Bisagras.</i>	20
<i>Figura 2. 17 Porta bandejas</i>	21
<i>Figura 2. 18 Unidad Condensadora</i>	22
<i>Figura 2. 19 Tubería de alta presión para refrigeración</i>	22
<i>Figura 2. 20 Conexión de tubería la condensador</i>	23
<i>Figura 2. 21 Filtro secador</i>	23

<i>Figura 2. 22 Dirección de flujo de filtro secador</i>	24
<i>Figura 2. 23 Diagrama de conexiones (Motor ventilador)</i>	24
<i>Figura 2. 24 Evaporador vista interna y externa</i>	25
<i>Figura 2. 25 Circuito de refrigeración</i>	25
<i>Figura 2. 26 Vaciado del sistema y comprobación de fugas</i>	26
<i>Figura 2. 27 Estructura del caldero de vapor con nivel de agua</i>	27
<i>Figura 2. 28 Caldero de vapor forrado en lana de vidrio</i>	27
<i>Figura 2. 29 Manómetro analógico</i>	28
<i>Figura 2. 30 Mini caldero de vapor armado</i>	28
<i>Figura 2. 31 Caja Eléctrica.</i>	29
<i>Figura 2. 32 Colocación de componentes de visualización.</i>	30
<i>Figura 2. 33 Colocación de rieles metálicas, canaletas e instalación del circuito de fuerza.</i>	31
<i>Figura 2. 34 Ensamble del circuito de mando para las etapas de congelación y fermentación.</i>	31
<i>Figura 2. 35 Circuito de mando para las etapas de congelación y fermentación</i>	32
<i>Figura 2. 36 Prototipo de cámara de fermentación finalizado</i>	32
<i>Figura 3. 1 Diagrama de bloques del prototipo</i>	33
<i>Figura 3. 2 Controlador Full Gauge MT-530 E Súper</i>	34
<i>Figura 3. 3 Controlador Full Gauge MT- 900 e Log</i>	35
<i>Figura 3. 4 Diagrama general unificado de control del prototipo (Nótese la ampliación)</i>	35
<i>Figura 3. 5 Circuito de Fuerza de la etapa de refrigeración del prototipo</i>	37
<i>Figura 3. 6 Circuito de Fuerza de la etapa de fermentación del prototipo</i>	37
<i>Figura 3. 7 Software Sitrad Pro</i>	38
<i>Figura 3. 8 Tipo de comunicación</i>	38
<i>Figura 3. 9 Creación de usuario</i>	39
<i>Figura 3. 10 Creación de usuario</i>	39
<i>Figura 3. 11 Acceso al Software</i>	40
<i>Figura 3. 12 Selección de controlador</i>	40
<i>Figura 3. 13 Controlador detectado y seleccionado</i>	41
<i>Figura 3. 14 Pagina de monitoreo y supervisión en tiempo real</i>	41

<i>Figura 3. 15 Sistema de control del prototipo</i>	<i>42</i>
<i>Figura 4. 1 Temperatura en el ciclo de refrigeración</i>	<i>45</i>
<i>Figura 4. 2 Porcentaje de humedad en el ciclo de fermentación</i>	<i>46</i>
<i>Figura 4. 3 Temperatura en el ciclo de fermentación</i>	<i>47</i>
<i>Figura 4. 4 Masa-pan sin leudar</i>	<i>48</i>
<i>Figura 4. 5 Bandejas portadoras de masa-pan</i>	<i>48</i>
<i>Figura 4. 6 Masa-pan después del leudado</i>	<i>49</i>
<i>Figura 4. 7 Constantes de trabajo establecidas (Set point) de forma virtual.....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 4. 8 Constantes de trabajo establecidas (Set point) de forma manual</i>	<i>51</i>
<i>Figura 4. 9 Histéresis de trabajo establecida de forma virtual.....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 4. 10 Monitoreo del proceso de refrigeración en tiempo real</i>	<i>52</i>
<i>Figura 4. 11 Monitoreo del proceso de refrigeración</i>	<i>53</i>
<i>Figura 4. 12 Señal de salida</i>	<i>54</i>
<i>Figura 4. 13 Constantes de trabajo establecidas (Set point) de forma virtual.....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 4. 14 Histéresis de trabajo establecida de forma virtual.....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 4. 15 Histéresis de trabajo establecida de forma virtual.....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 4. 16 Monitoreo del proceso de fermentación en tiempo real</i>	<i>58</i>
<i>Figura 4. 17 Señal de salida del proceso de fermentación.....</i>	<i>59</i>
<i>Figura A. 1 Dimensiones de la estructura mecánica del prototipo</i>	<i>63</i>
<i>Figura A. 2 Dimensiones del tablero de control del prototipo</i>	<i>64</i>
<i>Figura A. 3 Dimensiones del porta bandejas del prototipo.....</i>	<i>64</i>
<i>Figura C. 1 Valores a parametrizar</i>	<i>65</i>
<i>Figura C. 2 Valores a parametrizar</i>	<i>65</i>
<i>Figura C. 3 Valores a parametrizar</i>	<i>66</i>
<i>Figura C. 4 Valores a parametrizar</i>	<i>66</i>
<i>Figura C. 5 Valores a parametrizar</i>	<i>67</i>

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1-1 Características de equipos con tecnología existente en el mercado nacional</i>	7
<i>Tabla 4. 1 Resumen del control del prototipo</i>	43

RESUMEN

Dentro de la línea de producción de pan existe el proceso de leudado de la masa, el cual es fundamental para alcanzar una contextura y un producto de calidad. Este proceso por lo general lo realizaran los panaderos de forma manual, la cual consiste en dejar reposar la masa por varias horas dentro de cuartos calientes hasta que se fermente la masa, perdiendo tiempo y dinero en la producción.

El proyecto de diseño y construcción de un prototipo de cámara de fermentación controlada orientada al mejoramiento en la línea de producción del pan basa principalmente en solventar la problemática antes descrita, dicho proyecto es una cámara doble propósito (Fermentación- Refrigeración) con la cual aceleramos el proceso de fermentación de la masa de pan mediante el control de temperaturas.

El ciclo de fermentación consta de un caldero de vapor cuyo principio de funcionamiento se basa en el uso de una niquelina la cual calienta el agua previamente suministrada para generar dicho vapor que posteriormente será suministrado a la cámara para alcanzar la temperatura y humedad requerida para que las bacterias que actúan en la fermentación se activen y realicen su trabajo acelerando del ciclo de fermentación de la masa

El ciclo de refrigeración consta de una unidad evaporadora, un condensador y ventiladores para alcanzar temperaturas bajo cero si el caso lo amerita con la finalidad de mantener la masa previamente fermentada

Todos los procesos antes mencionados son automatizados mediante el uso de controladores disponibles en el mercado, dichos controladores están parametrizados y configurados en base a nuestro estudio realizado, adicional a ello tenemos la supervisión y monitoreo en tiempo real de las variables del proceso en uso mediante un Software libre llamado Sitrad Pro perteneciente la marca de controladores utilizados.

INTRODUCCIÓN

En una panadería convencional, para alcanzar la etapa de fermentación, el panadero utiliza conocimientos basados en su experiencia diaria. El procedimiento realizado es empírico debido a que no existe ningún control para dicho proceso, es por ello que se va a diseñar un prototipo que controle las variables de temperatura y humedad requerida para este proceso, donde luego de hacer un análisis para solventar dichos requerimientos nos centramos en buscar controladores que nos ayuden al control de temperatura y humedad los cuales al ser programables podemos configurar distintos valores para permitir que la levadura actúe en este proceso de acuerdo con lo investigado. Los controladores que se escogieron fueron de la marca full gauge, los cuales son accesibles económicamente y a su vez garantizan la fiabilidad en su control.

El prototipo diseñado consta de dos etapas de funcionamiento, la primera es la etapa de Refrigeración, con la cual alcanzamos temperaturas de refrigeración de la masa mediante el uso comandado de los actuadores (Unidad condensadora, unidad evaporadora). La segunda etapa se refiere al ciclo de fermentación, donde se controlará el porcentaje de humedad y temperatura (Calor) al interior de la cámara, dicho control es indispensable para alcanzar el leudado de la masa, mediante el uso controlado de actuadores (solenoides de ingreso de vapor, niquelinas y ventilador).

El proceso inicia con el diseño y construcción de la estructura metálica que posteriormente albergara a todos los componentes y materiales involucrados en este proyecto.

Para el funcionamiento del proceso se diseña un tablero automatizado con el circuito de fuerza y mando para el control de los distintos actuadores involucrados en cada ciclo del proceso.

Para el ciclo de refrigeración se utilizó una unidad condensadora ubicada al exterior de prototipo y una unidad evaporadora al interior del prototipo, con las cuales alcanzamos temperaturas bajas (frio) para la refrigeración de la masa.

Para el ciclo de fermentación se acoplo un mini caldero de vapor ubicado en el exterior del prototipo, el cual inyecta vapor de agua al interior de la cámara para alcanzar la humedad requerida mediante el control de un solenoide, adicional tenemos

un generador de calor interno (niquelina y ventilador) los cuales aportan temperaturas requeridas para alcanzar la activación de la fermentación de la masa.

ANTECEDENTES DEL PROBLEMA DE ESTUDIO

El proceso de fermentación comienza con el panadero mezclando los principales componentes del pan: harina, agua y levadura. Además, se pueden incorporar otros ingredientes secundarios como sal, azúcar, saborizantes, etc. De acuerdo a la experiencia el panadero equilibra de manera empírica todos los aspectos de la fermentación.

La fermentación se refiere a la ruptura de las moléculas compuestas en sustancias orgánicas bajo los efectos de la levadura o las bacterias (fermentos). En la panadería, la fermentación se produce cuando una parte del azúcar o glúcido – el grupo de carbohidratos que incluye azúcares, almidones, celulosa y muchos otros componentes encontrados en organismos vivos y presentes de forma natural en la harina – se convierte en alcohol y dióxido de carbono, bajo el efecto de la levadura comercial, natural y de bacterias [1].

El problema radica en la pérdida de tiempo y producción al intentar alcanzar que la masa entre en el proceso de fermentación, dado que este se lo realiza de forma artesanal basado en la experiencia del panadero, este proceso tarda de 6 a 8 horas. El reto a superar es optimizar tiempos y acelerar la producción de pan, generando mayor índice de productividad y por ende ganancias.

JUSTIFICACIÓN (IMPORTANCIA Y ALCANCES)

Dentro de la línea de producción de pan existe el proceso de leudado de la masa, en el cual por medio del calor y humedad del ambiente los microorganismos existentes en la levadura empiezan a cumplir su función, con la cual se obtiene una masa agrandada y lista para el proceso de horneado. Este proceso al ser realizado de la forma tradicional (no industrial) que comúnmente realizan las panaderías tardan horas en realizarse, teniendo finalmente un producto (pan) con características que no necesariamente cumplen una calidad adecuada, en muchos de los casos llega a ser tanto una pérdida económica como una pérdida de fidelidad de clientes.

Dado esta problemática proponemos el diseño y construcción de un prototipo de cámara de fermentación que ayude a la optimización de la producción de pan. Esta cámara tendrá un doble propósito. En primera instancia la cámara servirá para almacenar la masa en condiciones de temperatura adecuadas para lo cual un controlador de temperatura es implementado. En segunda instancia, la cámara brindará las condiciones óptimas para que se produzca la fermentación en el menor tiempo posible, para lo cual es necesario implementar un controlador de temperatura y humedad. En otras palabras, la propuesta se centra en la implementación de un sistema de fermentación óptimo en base a un control de temperatura y humedad. Este prototipo tiene por características las siguientes:

- Cámara doble propósito para congelación en la cual se almacena la materia prima excedentes de la producción diaria y para leudado controlado de la masa para su producción forzada y rápida
- Automatización del prototipo mediante dos controladores disponibles en el mercado con características específicas de acuerdo a nuestra aplicación (frio-calor-humedad)
- Programación de los parámetros (frio-calor-humedad) basados en los requerimientos del grupo beneficiario.
- Utilización de una unidad evaporadora y congeladora con motor de refrigeración industrial para aplicaciones de baja temperatura.
- Supervisión y monitoreo en tiempo real de las variables del proceso.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Diseñar y construir un prototipo de cámara de fermentación controlada orientada al mejoramiento en la línea de producción del pan.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un análisis de la tecnología disponible en el mercado para la construcción de la cámara.
- Diseñar el prototipo de cámara y realizar un análisis de desempeño para el dimensionamiento adecuado de los componentes.
- Construir el prototipo e integrar todos los componentes electrónicos necesarios, incluyendo los esquemas para controlar la temperatura y la humedad del proceso.
- Realizar pruebas y corrección de errores.

CAPÍTULO 1: GENERALIDADES

1.1 GENERALIDADES DEL PAN

El pan es considerado uno de los alimentos importantes dentro de la dieta de una persona (véase la Figura 1). La OMS (Organización Mundial de la Salud) recomienda el consumo de 250 gramos de pan al día, en especial en edades tempranas de los seres humanos, dado que esto contribuyen al correcto desarrollo del cuerpo humano. Existen diferentes tipos de pan, esto se debe en especial a el tipo de harina que se utiliza y a su forma de fabricación, sin embargo, todos contribuyen a la dieta de las personas con el aporte de carbohidratos, proteínas, fibras, etc.



Figura 1. 1 Pan

Fuente: *Importancia de la fermentación del Pan, Ruiz. H*

Independientemente del tipo de pan que se realice los principales ingredientes se los detalla a continuación:

Harina: Ingrediente obtenido a partir de la trituración o de la molienda de los diversos cereales como, por ejemplo, el trigo, la cebada, el maíz, entre otros; dentro de sus propiedades está compuesto por proteínas y almidón. En la elaboración de la masa para el pan, el almidón se convierte en azúcares fermentables que favorecen a la cocción del mismo.

Las proteínas que contiene la harina están compuestas por glutenina y gliadina, las cuales al entrar en contacto con el agua forman una especie de red que atrapan el almidón en forma de gluten. Estas proteínas contribuyen a que la masa tome una

consistencia pegajosa y parda, las cuales contribuyen a que la masa pueda retener todos los gases que se producen en la fermentación [2].

Sal: Principalmente se obtiene de forma natural de lo profundo del mar, principalmente se encuentra compuesta por sodio y cloro. La sal se utiliza de acuerdo al tipo de pan que se esté realizando, por lo general se recomienda que del total de la masa utilizada represente un 2%, dado que la sal disminuye la actividad de la fermentación.

Azúcar: Este producto se obtiene de la caña de azúcar, que se cultiva principalmente en la región costa y oriente del país. Se utiliza de acuerdo al tipo de pan que se esté realizando, por lo general se recomienda que del total de la masa utilizada represente un 5% porque la azúcar incrementa la actividad de la fermentación, dado que la levadura recibe mayor cantidad de nutrientes [1].

Agua: Esta sustancia es indispensable para la vida humana, está formada por dos átomos de hidrogeno y uno de oxigeno (H_2O), sirve para mezclar y disolver todos los componentes de la masa de pan, especialmente activa las proteínas de la harina. Es recomendable que el agua represente un 60% del volumen total de la masa para que la misma obtenga una forma moldeable.

Levadura: Para la elaboración del pan se utiliza la levadura biológica, que es un hongo el cual pertenece al género *Saccharoromyces Cerevisiae* que se obtiene industrialmente en forma seca, prensada o líquida [2].

En base a la cantidad de levadura podemos controlar la velocidad de fermentación, dado a que estas son directamente proporcionales. La levadura posee algunos microorganismos unicelulares los cuales se alimentan del almidón y los azúcares de la harina, dando lugar a la fermentación alcohólica, la cual consiste en la liberación de gases de dióxido de carbono (CO_2) y etanol ($CH_3 - CH_2 - OH$), lo cual hace posible el aumento de la masa [3].

2.1 PROCESO DE ELABORACIÓN DEL PAN

Una vez disponible los diferentes ingredientes para la elaboración de cualquier tipo de pan, se pesa los mismos de forma exacta, con la finalidad de que el producto sea de

calidad (véase la Figura 1.2). La cantidad que se utilice de cada ingrediente depende del tipo de pan a realizarse y en especial del criterio del panadero, ya que él, en base a su experiencia logra obtener una producción uniforme.



Figura 1. 2 Porción de ingredientes para pan

Fuente: ***Procesos y técnicas de Panificación, Manuel Flecha***

Luego de mezclar los ingredientes se debe realizar el amasado para lograr una masa uniforme. Este proceso se puede realizar de forma manual o mecánica (amasadoras industriales). La forma manual es la que tradicionalmente han utilizado los panaderos por muchos años, la cual consiste en el uso progresivo de la fuerza mediante las manos para obtener una masa homogénea y moldeable, dentro de este proceso se puede llegar a utilizar herramientas como los rodillos de cocina que están elaborados de madera.

La forma mecánica consiste en el uso de herramientas industriales (amasadoras) que facilitan el amasado ahorrando tiempo y generando mayor cantidad de masa, regularmente estas funcionan a una velocidad entre 100 y 250 rpm, dependiendo del tamaño y características de la misma (véase la Figura 1.3).



Figura 1. 3 Amasadora Industrial

Una vez elaborada la maza es fundamental que ésta repose. Gracias a esta etapa la masa adquiere tonicidad y elasticidad adecuada para la siguiente etapa. El reposo debe ser realizado a temperatura ambiente.

Posteriormente se debe realizar la división, el boleado, el formado y entablado de la maza del pan. La división consiste en cortar o fraccionar en pequeñas porciones o unidades la masa total, de esta manera obtenemos el mismo volumen en cada pieza de pan. Este proceso se lo realiza de forma manual o mecánica. La forma manual consiste en cortar pequeñas unidades de la masa, y en base a una balanza asegurarse que todas las unidades sean iguales mediante su peso. La forma mecánica consiste en utilizar maquinas industriales, de las cuales existen una gran diversidad de acuerdo al tamaño de producción, entre ellas tenemos divisoras volumétricas, divisora boleadora, etc.

El boleado de la masa consiste en darle una forma redondeada a las piezas de pan previamente divididas, con la finalidad de darle un borde consistente y duro por el cual no se escapen los gases producidos en la fermentación, esta etapa se puede realizar de forma manual o mecánica utilizando máquinas como la mostrada en la Figura 1.4.



Figura 1. 4 Divisora Boleadora

Fuente: *Procesos y técnicas de Panificación, Manuel Flecha*

El formado de la pieza de pan, consiste en dar la forma final del pan antes de entrar a la etapa de cocción. Este procedimiento se puede realizar de forma manual o

mecánica de acuerdo al requerimiento y al tamaño de la producción. Dentro de la forma mecánica tenemos máquinas industriales como la formadora francesa (véase la figura 1.5), formadora de doble recorrido, etc.



Figura 1. 5 Formadora Francesa

Fuente: *Procesos y técnicas de Panificación, Manuel Flecha*

Finalmente, el entablado consiste en colocar las piezas de pan en sus respectivas latas o carritos panaderos, las cuales son introducidos en las cámaras de fermentación u hornos.

Luego del entablado se debe realizar la fermentación, la cual consiste en obtener el esponjamiento adecuado de las piezas de pan, para su posterior cocción, la obtención del mismo se explica en el punto 1.3 a mayor detalle.

Es la etapa final de la preparación del pan, se introducen los carritos panaderos previamente preparados dentro los hornos. Las temperaturas que los hornos alcanzan oscilan en los 210°C con una tolerancia de $\pm 5^{\circ}\text{C}$. El tiempo de cocción depende del tipo de pan que se esté realizando y al criterio del panadero.

3.1 FERMENTACIÓN

Mediante el uso de la levadura u otros compuestos se logra la ruptura de las moléculas en sustancias orgánicas, a este proceso se lo conoce como fermentación.

Dentro de la producción de pan, este proceso es indispensable dado que aporta al esponjamiento, sabor y contextura de la masa para la elaboración del mismo, de esta manera obteniendo un producto más consistente y duradero. Se debe considerar una temperatura entre los 29°C y 35°C para alcanzar una fermentación adecuada. Si la temperatura se encuentra en un rango menor al especificado, simplemente no se

produce el efecto de fermentación, dado que los microorganismos encargados del fenómeno no se activan. Por el contrario, si se pasa de esta temperatura, la fermentación se suspende dado a que estos mismos microorganismos entran en etapa de suspensión.

2.3.1 SACCHAROMYCES CEREVISIAE (LEVADURA INVOLUCRADA EN EL FERMENTO DE MASA PARA PAN)

Esta levadura al entrar en contacto con los azúcares y almidones provenientes de los ingredientes para la elaboración del pan, es convertido en dióxido de carbono (CO_2) y etanol (alcohol etílico) ($CH_3 - CH_2 - OH$). Donde el gluten proveniente de la harina captura en forma de burbujas al CO_2 , provocando el gas necesario para que la masa del pan se esponje y aumente su volumen y textura, mientras que el etanol no es necesario por ende se evapora en proceso de cocción de la masa del pan. [3]

Una consideración importante en cuanto a la cantidad de levadura es la acidez (pH) de la masa, dado que esta es directamente proporcional a la actividad fermentativa, en base a investigación realizada y bajo el criterio de varios autores, se establece que un pH entre 4 y 6 es el óptimo para la levadura comercial utilizada en el proceso de la elaboración el pan.

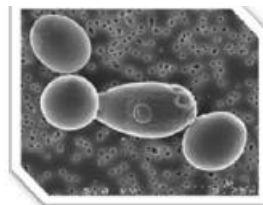


Figura 1. 6 Hongo Saccchromyces Cerevisiae (Fermentación alcohólica)

Fuente: *Efecto de la adición de fibra de linaza sobre el índice de fermentación, Ivonne Prado Soto*

2.3.2 FERMENTACIÓN CONTROLADA

Es posible alcanzar el control de la fermentación mediante el uso adecuado de tres variables; calor, humedad y frío. Estas variables deben ser incorporadas en una especie de cámara donde se encuentre el producto a fermentar. Por muchos años este proceso se lo ha hecho empíricamente, pero hoy gracias a la tecnología, se puede

realizar de forma automática. Es muy importante tener en cuenta que el uso en proporciones distintas de la temperatura y humedad dentro de la cámara provocaría que el producto a fermentar se pierda o salga deforme. Los factores que influyen a dicho proceso son los ingredientes que se utilizan en la elaboración del producto, en nuestro caso el pan, los mismos que se encuentran debidamente detallados en la subsección 1.1.

El calor adecuado que se debe usar para alcanzar la fermentación oscila entre los 29°C y 35°C, por el contrario, el porcentaje de humedad debe ser alrededor del 75% si se logra establecer los valores de temperaturas antes mencionados, si no se alcanza dichos valores de temperatura es necesario aumentar el porcentaje de humedad para alcanzar el proceso correcto de fermentación [3].



Para detener el proceso de fermentación, es necesario que la masa alcance una temperatura alrededor de 4°C, es decir bloquear el uso del calor y humedad.

4.1 TECNOLOGÍA DISPONIBLE EN EL MERCADO NACIONAL PARA EL PROCESO DE FERMENTACIÓN.

Basados en las características técnicas de algunos equipos industriales, a continuación, en la Tabla 1.1 se exponen detalles de opciones existentes dentro del mercado nacional.

Tabla 1-1 Características de equipos con tecnología existente en el mercado nacional

Equipo –Fabricante	Características técnicas	Precio
Cámara de fermentación (Adeucarpi-Hoteleria Ecuador)	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura y humedad administradas electrónicamente • Construcción en acero inoxidable • Unidad de calor/ vapor (Calentamiento con resistencia específica y humidificación con calentadores sumergidos) • Temperatura hasta + 45 °C • Humedad relativa entre 30% y 95% • Medidas (227cm x 53.5cm x 91.5 cm) • Voltaje de trabajo 220V/60 Hz • Paneles aislantes en poliuretano de 40mm • Capacidad 15 bandejas de 60cm x 40xm [4] 	6496 \$

 <p><i>Figura 1. 7 Cámara de fermentación [4].</i></p>		
<p>Cámara de Leudo L-10 Génesis (ICARO HORNOS)</p>  <p><i>Figura 1. 8 Cámara de Leudo L-16 [5]</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Construcción en acero inoxidable • Calentamiento eléctrico mediante resistencia eléctrica de potencia 1200W • Generación de vapor por medio por medio de válvula solenoide • Control de temperatura hasta máximo 90 °C • Alimentación 220 VAC • Capacidad de 10(Pequeña) bandejas de acuerdo al modelo del equipo [5] 	<p>1232 \$</p>
<p>Cámara de Leudo o fermentación (Corempo)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Control digital de temperatura • Capacidad de 12 bandejas • Control Automático de nivel de agua • Vapor seco • Montado sobre ruedas • Construido en acero inoxidable • Alimentación mediante 120V • Medidas (173cm x 88cm x 71 cm)[6] 	

 <p><i>Figura 1. 9 Cámara de Leudo o fermentación[6]</i></p>		\$5500
---	--	--------

CAPÍTULO 2: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO DE LA CÁMARA

5.1 ESTRUCTURA DEL PROTOTIPO CÁMARA

En esta sección se especifican los componentes y etapas fundamentales del prototipo, además se detalla la interacción de los mismos en el proceso. Dichos componentes son:

- Etapa de refrigeración
- Etapa de fermentación
- Tablero de control
- Porta bandejas

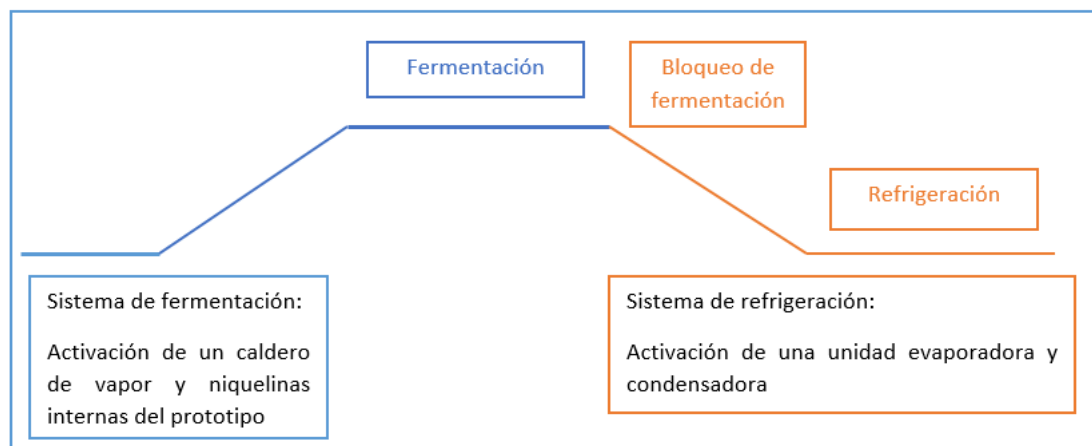


Figura 2. 1 Interacción de las etapas y componentes en el proceso de leudado de la masa

Fuente: AUTOR

Una vez introducido la porta bandejas con la materia prima (masa pan) al interior de la cámara, se lleva a cabo el proceso descrito en la Figura 2.1, dicho proceso se encuentra automatizado gracias a controladores que se detallan en el Capítulo 3.

6.1 DISEÑO DE LOS COMPONENTES Y PARTES

2.2.1 DISEÑO DE LA ETAPA DE REFRIGERACIÓN

Mediante el uso de una unidad evaporadora y congeladora con motor de refrigeración industrial controladas por el controlador *Full Gauge MT- 900 e Log* alcanzamos las temperaturas requeridas para el proceso de refrigeración de la masa.

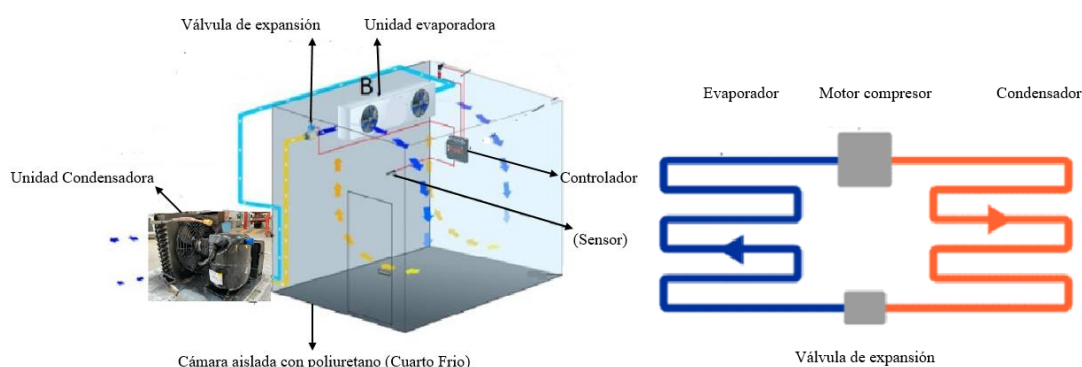


Figura 2. 2 Sistema de refrigeración

Fuente: AUTOR

La unidad evaporadora es la encargada de controlar las temperaturas en un espacio determinado, en este caso, en el interior del prototipo se lo realiza en base a la transferencia de calor de un refrigerante de estado líquido cambiando a estado gaseoso.

La unidad condensadora mediante la transferencia de calor, convierte fluidos en estado gaseoso a estado líquido. En la figura 2.2 se aprecia la ubicación de los componentes antes mencionados, además se establece el orden de conexión. La unidad condensadora va conectada a continuación de los ventiladores (motor - compresor), los cuales deberán girar en sentido horario para succionar el aire desde afuera del condensador. A su vez la corriente de aire enfriará al motor. A continuación, se conecta la válvula de expansión, la cual conecta al evaporador cerrando el ciclo de refrigeración. Todo este proceso es automatizado gracias a controladores que se detallan en el Capítulo 3. En la figura 2.3 se visualiza la ubicación de la unidad condensadora en el prototipo, mientras en la figura 2.4 se visualiza la ubicación de la unidad evaporadora.

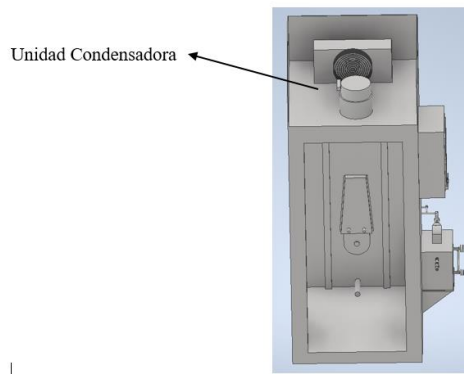


Figura 2. 3 Ubicación de la unidad condensadora en el prototipo

Fuente: AUTOR

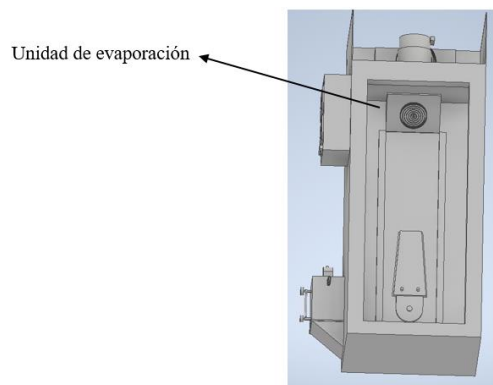


Figura 2. 4 Ubicación de la unidad condensadora en el prototipo

Fuente: AUTOR

2.2.2 DISEÑO DE LA ETAPA DE FERMENTACIÓN

Esta etapa consiste de un caldero de vapor cuyo principio de funcionamiento está basado en el calentamiento de agua mediante una niquelina para generar vapor. El vapor generado es inyectado al interior del prototipo mediante una válvula solenoide para alcanzar la humedad y la temperatura necesaria. Esta etapa ayuda a activar el proceso de fermentación de la masa, adicional se implementa una niquelina en el interior de la cámara para acelerar el alcance de temperatura interna. El control de este subproceso se realiza mediante el controlador industrial *Full Gauge MT- 530 E*.

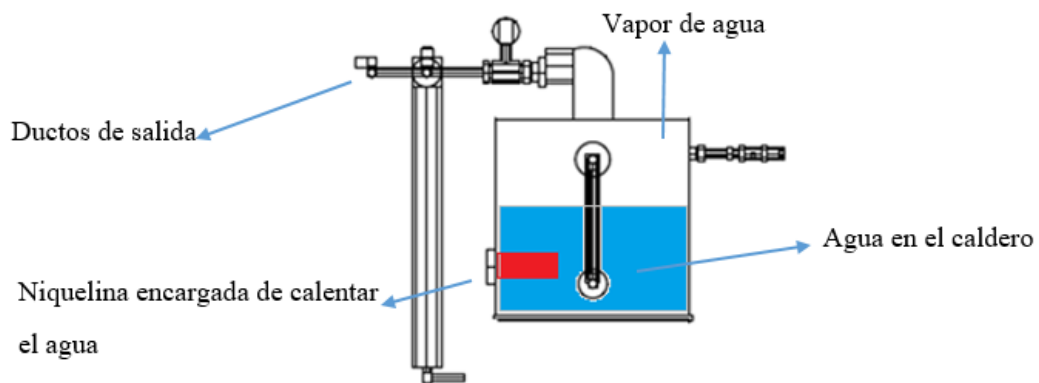


Figura 2. 5 Caldero en proceso de generación de vapor de agua

Fuente: AUTOR

En la Figura 2.6 se aprecia la ubicación del caldero de vapor en el prototipo, junto con las partes que lo conforman.

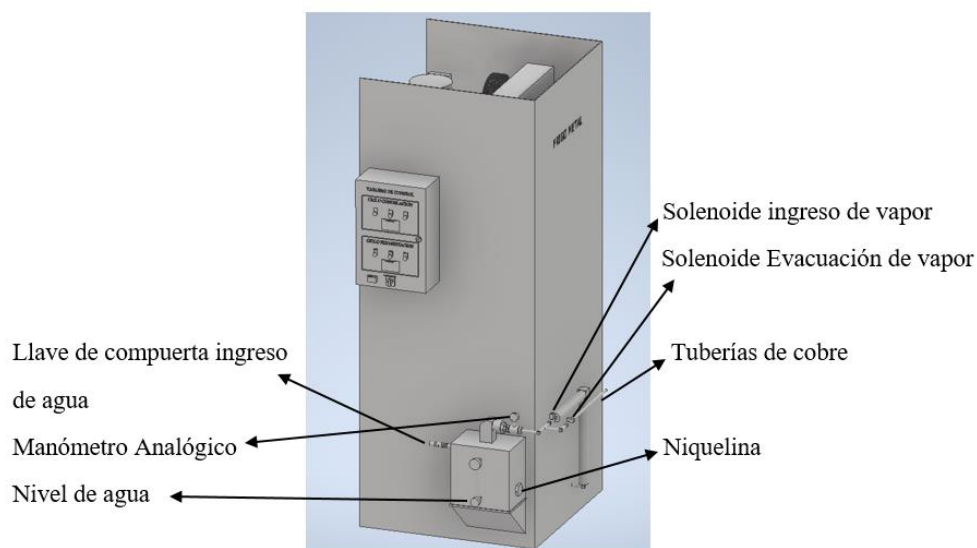


Figura 2. 6 Caldero de vapor para la generación de vapor

Fuente: AUTOR

En la Figura 2.7 se aprecia la ubicación de la niquelina en el interior de la cámara y el ducto de ingreso de vapor a la misma.

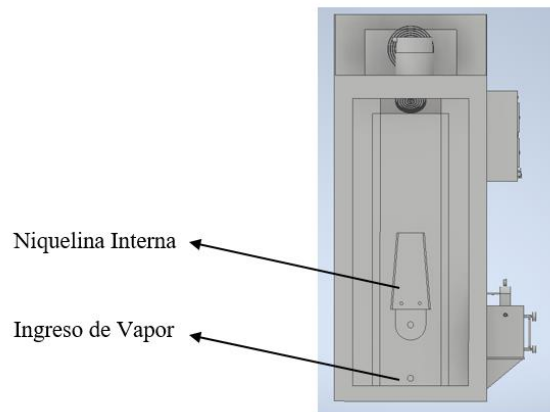


Figura 2. 7 Ubicación de componentes internos de la etapa de fermentación

Fuente: AUTOR

2.2.3 DISEÑO DEL TABLERO DE CONTROL

El tablero de control permite al usuario una conmutación entre las etapas de refrigeración y fermentación. En la posición de refrigeración se controla la unidad evaporadora y condensadora con el uso del controlador Full Gauge MT- 900 e Log, esto permite alcanzar las temperaturas requeridas en el proceso. En la posición de Fermentación se controla el caldero de vapor y niquelinas internas con el uso del controlador Full Gauge MT- 530 E Súper, mediante el cual se alcanza las temperaturas y niveles de humedad requeridos para el proceso. En la figura 2.8 se aprecia el diseño del tablero de control, además se especifica a detalle cada botón y etapa del mismo. Por otra parte, en la Figura 2.9 se visualiza la ubicación del tablero de control en el prototipo.

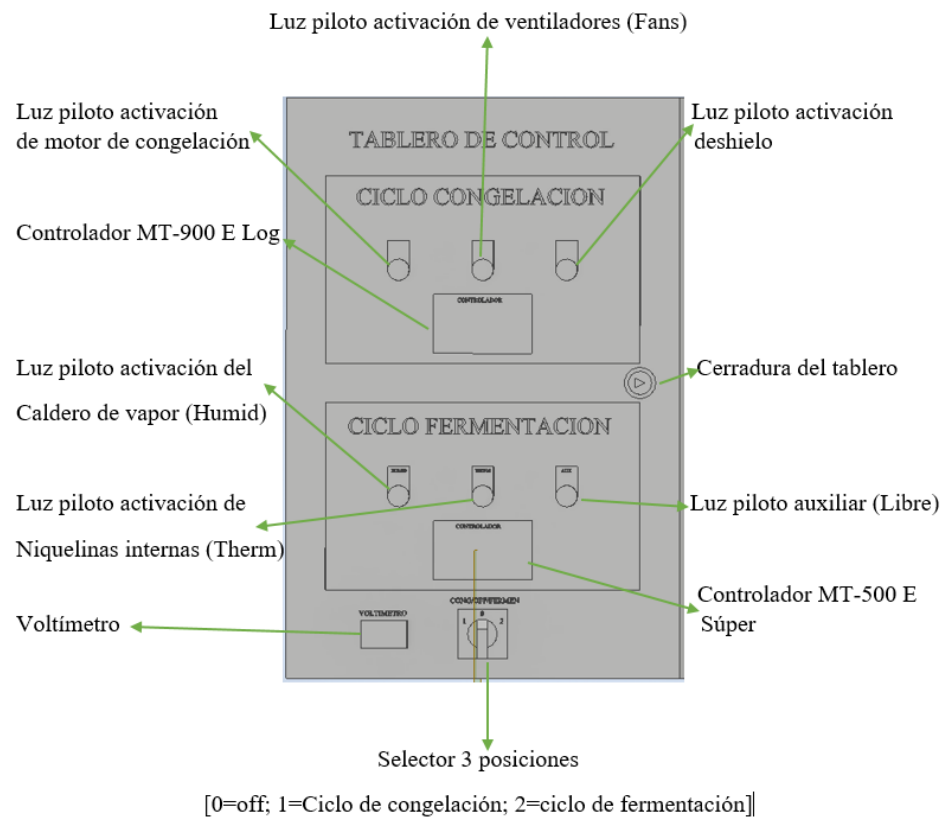


Figura 2. 8 Tablero de control del prototipo

Fuente: AUTOR

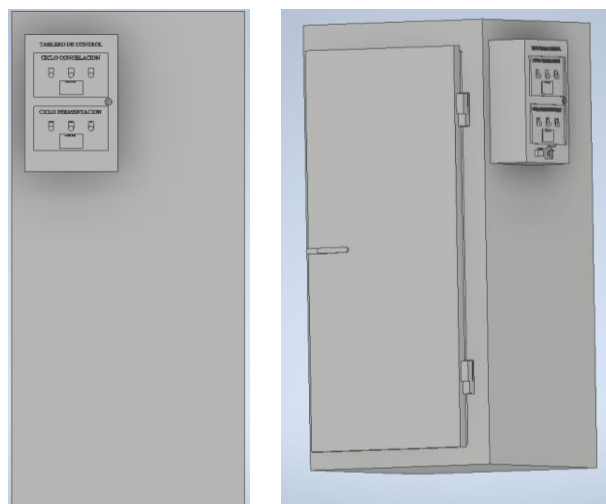


Figura 2. 9 Ubicación del Tablero de control en el prototipo

Fuente: AUTO

2.2.4 PORTABANDEJAS

Se utiliza para colocar las bandejas con la materia prima (masa del pan) que se introducen dentro del prototipo de cámara. El portabandejas (véase la Figura 2.10) se ha diseñado con una capacidad para albergar 14 bandejas.

El diseño final de todo el prototipo se ilustra en la Figura 2.11.

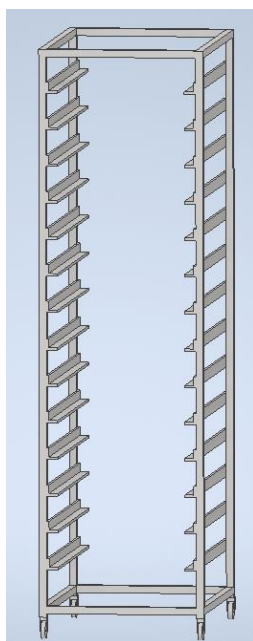


Figura 2. 10 Porta Bandejas de 14 latas

Fuente: AUTOR

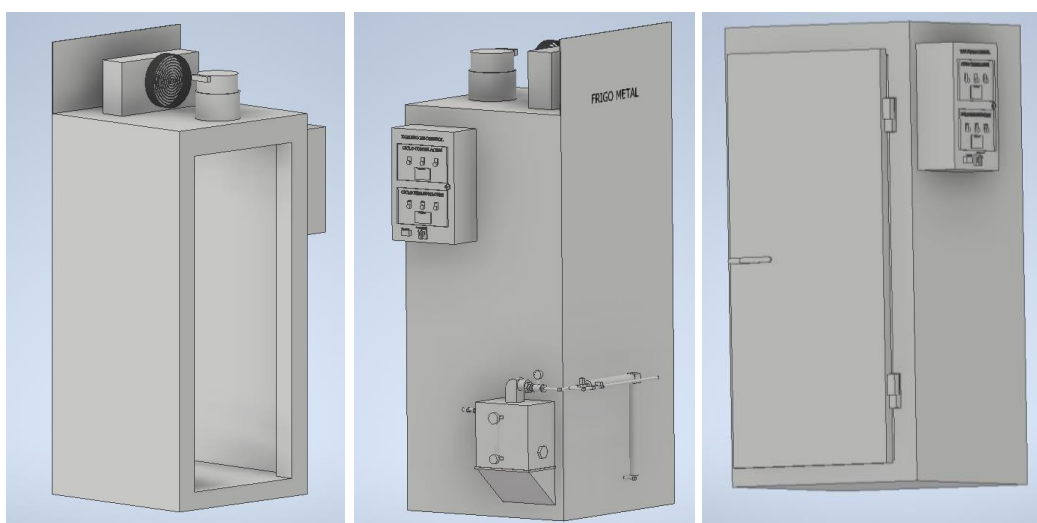


Figura 2. 11 Diseño final

Fuente: AUTOR

2.3 PROCESO CONSTRUCTIVO

Este proceso se divide en 4 etapas, las cuales se indican a continuación:

1. Construcción de la parte mecánica (Estructura del prototipo y colocación de componentes)
2. Construcción de la etapa de refrigeración
3. Construcción de la etapa de Fermentación
4. Construcción del proceso eléctrico (Diseño e implementación de los diagramas de fuerza y control).

2.3.1 PROCESO MECÁNICO

Se define las medidas longitudinales que poseerá el prototipo a ser construido:

Largo: 1 [m]

Ancho: 1 [m]

Alto: 2.20 [m]

Se utiliza tubos galvanizados cuadrados para formar la estructura (véase la Figura 2.12). La especificación de los tubos es:

Dimensiones: 1"x1" [In]

Espesor: 1.5 [mm]



Figura 2. 12 Estructura Cámara.

Fuente: AUTOR

Se coloca garruchas de 3 pulgadas en la base adaptándolas interiormente para que la altura del prototipo sea lo más cercano al piso y a la vez móvil (véase la Figura 2.12).

Una vez finalizada la estructura base se procedió a forrar con paneles aislados, realizando los cortes respectivos para que todas las juntas queden completamente unidas (véase la Figura 2.13).



Figura 2.13 Estructura forrada con paneles

Fuente: AUTOR

Se utiliza poliuretano de alta densidad para inyectar en el interior de los tubos y en las juntas de los paneles, para de esta manera evitar pérdidas de temperatura en menor tiempo en el interior.

Para la parte del piso de la cámara se coloca una cubierta de lámina de aluminio corrugada de 1mm para que sea antideslizante (véase la Figura 2.-14).



Figura 2. 14 Piso antideslizante.

Fuente: AUTOR

Después, se coloca perfiles de acero inoxidable en “L” de [3cm x 3cm] en todas las uniones interiores de los paneles, como se observa en la (Figura 2.14)

En la parte exterior, se coloca los perfiles de acero inoxidable en “L” en la parte superior de la unión de las paredes con el panel del techo y también la parte inferior de las paredes con la unión del piso. (véase la Figura 2.15)



Figura 2. 15 Puerta aislada.

Fuente: AUTOR

Para el marco de la puerta también se utiliza una lámina de acero inoxidable, esta vez tipo “u” de [10cm x 4cm x 10cm] (véase la Figura 2.15).

Finalmente se construye la puerta, ensamblada con lamina brillante de acero inoxidable de 0,7mm de espesor. El aislamiento interior de 4cm de espesor está conformado por una plancha de 12mm de *plywood* de las dimensiones correspondientes a la puerta, seguido de espuma de alta densidad y para terminar se coloca el empaque de caucho en el contorno de la puerta.

La sujeción de la puerta está dada por un par de bisagras cromadas que se sujetan en un lateral de la puerta y la cerradura en el otro lateral (véase la Figura 2.16)



Figura 2.16 Bisagras.

Fuente: AUTOR

Finalmente, se procedió a construir la porta bandejas utilizando acero inoxidable. También se utilizaron ruedas para que pueda desplazarse fácilmente (véase la figura 2.17)



Figura 2. 17 Porta bandejas

Fuente: AUTOR

2.3.2 CONSTRUCCIÓN DE LA ETAPA DE REFRIGERACIÓN

El sistema de refrigeración se compone de dos partes, la unidad condensadora ubicada en el exterior y la unidad evaporadora en el interior.

La unidad condensadora (véase la Figura 2.18) está formada con los siguientes componentes:

- Condensador por aire forzado.
- Ventilador.
- Motor compresor.
- Filtro secador.

Estos componentes se ubican en una base metálica de tal forma que cada componente realice su función específica. Es decir, el condensador debe ir ubicado seguido del ventilador el cual tiene que girar en sentido horario para que pueda succionar el aire desde afuera del condensador y a la vez dicha corriente de aire enfriar al motor compresor mejorando su rendimiento.



Figura 2. 18 Unidad Condensadora

Fuente: AUTOR

Para las conexiones de flujo se utiliza tubería de cobre flexible (véase la Figura 2.19) de las siguientes características:

- Tuberías líneas de alta presión: diámetro de tubería 5/16"
- Tuberías líneas de baja presión: diámetro de tubería de 5/8"



Figura 2. 19 Tubería de alta presión para refrigeración

Fuente: AUTOR

Se instala las tuberías de conexiones para el circuito de refrigeración, como se puede observar en la Figura 2.20.



Figura 2. 20 Conexión de tubería la condensador

Fuente: AUTOR

Posteriormente a la salida del condensador se conecta el filtro secador (color azul) (Figura 2.21) el cual se conectará a la entrada de la válvula de expansión, la cual irá conectada a la entrada del evaporador en la parte interna.



Figura 2. 21 Filtro secador

Fuente: AUTOR

En esta etapa es indispensable respetar la dirección de flujo del filtro secador, tal cual como indica la flecha en el filtro (véase la Figura 2.22).



Figura 2. 22 *Dirección de flujo de filtro secador*

Fuente: AUTOR

Una vez terminado el proceso de conexión de tuberías se realiza la instalación eléctrica del motor ventilador de succión que va ubicado en la unidad condensadora. Para esta etapa, respetamos el diagrama de conexiones que se encuentra especificado en el siguiente esquema (véase la Figura 2.23).

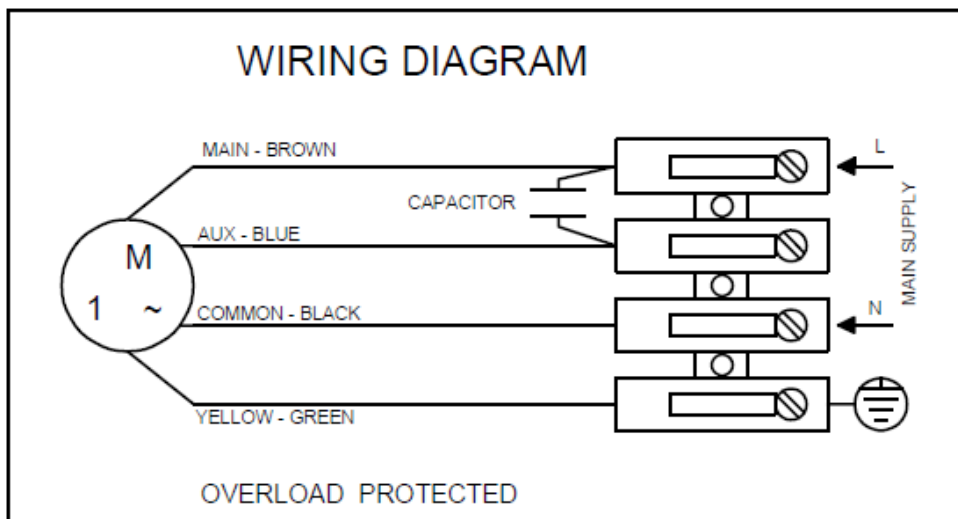


Figura 2. 23 *Diagrama de conexiones (Motor ventilador)*

Fuente: AUTOR

Al igual que en la etapa anterior, respetamos los diagramas especificados en los dispositivos para el ventilador interno del evaporador (véase la Figura 2.24)



Figura 2. 24 Evaporador vista interna y externa

Fuente: AUTOR

Finalmente se muestra el ensamblaje terminado del circuito de refrigeración, con sus respectivas líneas de tuberías de alta y baja presión (véase la Figura 2.25).



Figura 2. 25 Circuito de refrigeración

Fuente: AUTOR

Una vez terminada la suelda de todas las tuberías, se procede a realizar el vaciado del sistema con la ayuda de una bomba de evacuación para sistemas de refrigeración y un manómetro, como se puede observar en la Figura 2.26

Gracias al vaciado del sistema de -23psi, eliminamos cualquier tipo de humedad existente en el sistema y a su vez comprobamos que no existan fugas en las soldaduras realizadas anteriormente.



Figura 2. 26 Vaciado del sistema y comprobación de fugas

Fuente: AUTOR

2.3.3 CONSTRUCCIÓN DE LA ETAPA DE FERMENTACIÓN

Para solventar las necesidades requeridas en la etapa de fermentación es necesario realizar la construcción de un mini caldero de vapor para alcanzar las temperaturas y humedades requeridas en el proceso.

La estructura del mini caldero de vapor está fabricada en acero inoxidable aisi304 (véase la Figura 2.27). Las dimensiones de fabricación son:

Largo: 29,5 [cm]

Ancho: 19,5 [cm]

Profundidad: 31,5 [cm]



Figura 2. 27 Estructura del caldero de vapor con nivel de agua

Fuente: AUTOR

Se forra todo el caldero con 4 cm de lana de vidrio y forro externo en acero inoxidable con la finalidad de aislar las altas temperaturas a producir, además se acopla el nivel de agua y niquelina (véase la Figura 2.28).



Figura 2. 28 Caldero de vapor forrado en lana de vidrio

Fuente: AUTOR

Se instala un manómetro analógico para la lectura de la presión de vapor generado (véase la Figura 2.29).



Figura 2. 29 Manómetro analógico

Fuente: AUTOR

Se acopla todos los dispositivos y materiales para el funcionamiento del mini caldero de vapor (véase la Figura 2.30).

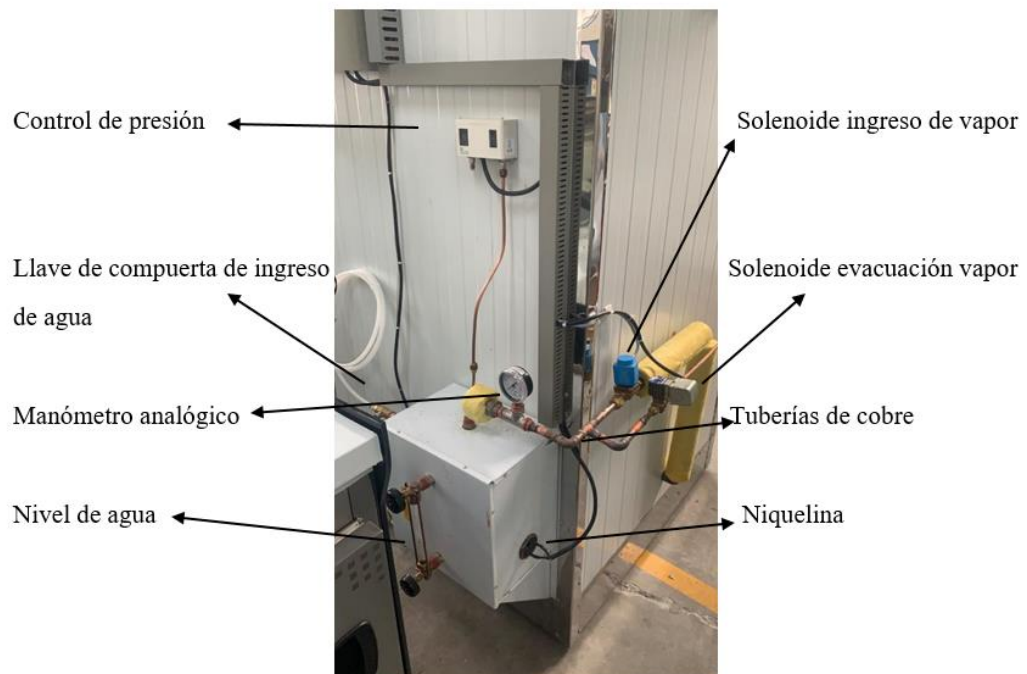


Figura 2. 30 Mini caldero de vapor armado

Fuente: AUTOR

2.3.4 PROCESO ELÉCTRICO

Los componentes y dispositivos utilizados para el ensamblaje del tablero de control se indican a continuación:

- Controlador Full Gauge MT- 530 E.
- Controlador Full Gauge MT- 900 e Log
- Conector EasyProg ver.02, para conexión serial TTL marca Full Gauge
- Contactores CHNT NC1,18A-AC3, 220VAC (1NA)
- Protectores térmicos CHNT NR2-25^a
- Solenoide EV210, marca danfoss
- Focos piloto 220V CHNT
- Selectores 3 posiciones CAMSCO

El tablero tiene como soporte una caja eléctrica de 70cm x 40cm. En la parte de la tapa delantera existen dos secciones de mando y visualización de los focos piloto indicadores, teniendo en la parte superior el ciclo de congelación y en la parte inferior el ciclo de Fermentación (véase la Figura 2.31).



Figura 2. 31 Caja Eléctrica.

Fuente: AUTOR

Una vez elegida la orientación y ubicación de los componentes de visualización, se procede a realizar las respectivas perforaciones con la ayuda de un taladro, amoladora y unos sacabocados (véase la Figura 2.32).



Figura 2. 32 Colocación de componentes de visualización.

Fuente: AUTOR

Para la parte interna de la caja eléctrica “doble fondo”, se procede a ubicar el riel metálico y a sujetar las canaletas plásticas por donde van a ir ubicados los cables de mando y fuerza.

Teniendo todos los componentes asegurados en la caja eléctrica se procede a realizar la instalación del circuito de fuerza (véase la Figura 2.33).

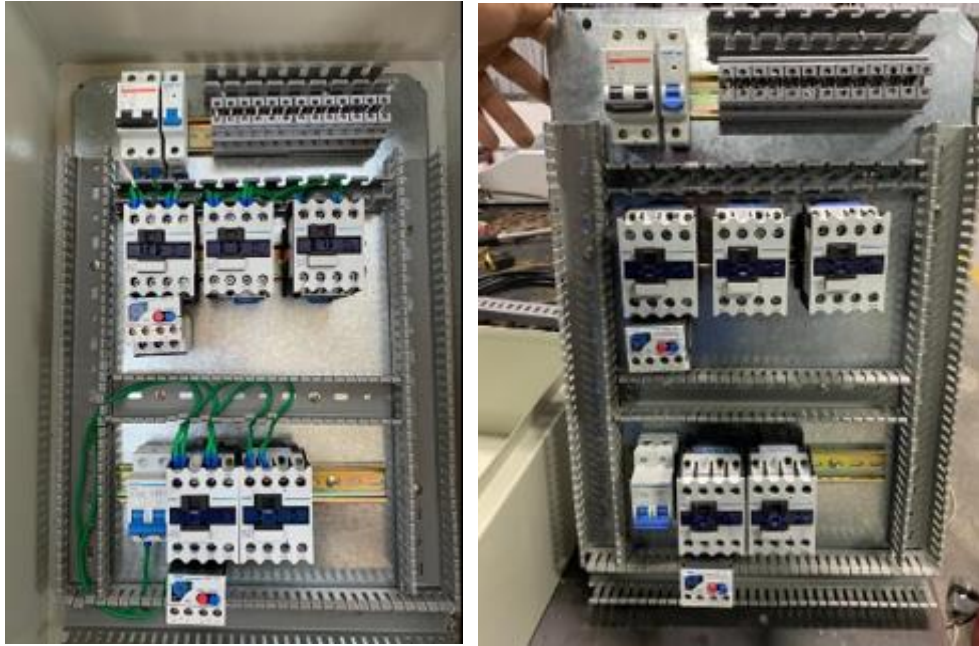


Figura 2. 33 Colocación de rieles metálicas, canaletas e instalación del circuito de fuerza.

Fuente: AUTOR

Una vez concluido el circuito de fuerza se procede a realizar la conexión del circuito de mando para cada etapa de congelación y fermentación independiente con cada uno de sus controladores (véase las Figuras 2.34 y 2.35).



Figura 2. 34 Ensamble del circuito de mando para las etapas de congelación y fermentación.

Fuente: AUTOR



Figura 2. 35 Circuito de mando para las etapas de congelación y fermentación

Fuente: AUTOR



Figura 2. 36 Prototipo de cámara de fermentación finalizado

Fuente: AUTOR

CAPÍTULO 3: SISTEMAS DE CONTROL

En este capítulo se detalla las características y configuraciones de los controladores utilizados en el prototipo, los mismos se encuentran disponibles en el mercado nacional, dichos controladores fueron seleccionados por cubrir todas las características que demanda el prototipo para su control.

En la figura 3.1 se detalla el diagrama de bloques del funcionamiento del sistema automatizado para el proceso de fermentación y refrigeración de la materia prima (Masa Pan)



Figura 3. 1 Diagrama de bloques del prototipo

Fuente: AUTOR

3.1 CONTROLADORES

3.1.1 CONTROLADOR MT-530E SUPER MARCA FULL GAUGE

Tiene tres salidas: una para control de la temperatura, una para control de la humedad y una tercera salida auxiliar que actúa como una segunda etapa de control de temperatura, control de humedad, alarma o temporizador (temporizador) cíclico.

Este controlador (véase la Figura 3.1) es adecuado para baja y media humedad relativa (10 a 85% sin condensación). Sus sensores de temperatura y humedad se unen en un solo bulbo, lo que reduce el espacio de instalación y el cableado. También

incluye una alarma audible (buzzer) y una función que evita que los usuarios no autorizados cambien los parámetros del controlador [7]. Estos controladores suelen utilizarse en diversas aplicaciones. Algunas de estas se indican a continuación

- Deshumidificadores
- Bodegas
- Secado de granos
- Humidificadores
- Climatizados
- Climatizados y ambientes de TI (Data Centers). [7]



Figura 3. 2 Controlador Full Gauge MT-530 E Súper

Fuente: MT- 530 Super, Controllers Full Gauge

3.1.2 CONTROLADOR TC-900E LOG MARCA FULL GAUGE

Para congelados, automatiza los procesos de deshielo de acuerdo con la necesidad de la instalación (deshielo inteligente), proporcionando ahorro de energía. En la Figura 3.2 se muestra una vista panorámica del controlador.

El control de temperatura ambiente cuenta con un setpoint normal y un setpoint económico, además de la funcionalidad de congelamiento rápido (fast freezing) y funciones de alarma indicando si la puerta de la recámara está abierta. Presenta dos entradas digitales, un sensor de activación de setpoint económico a través de la intensidad de luz y dos sensores principales, uno para temperatura ambiente y otro que, fijado en el evaporador comanda el final del deshielo y el retorno de los ventiladores [8]



Figura 3. 3 Controlador Full Gauge MT- 900 e Log

Fuente: MT- 900 e Log, Controllers Full Gauge

3.2 LAZOS DE CONTROL Y FUERZA

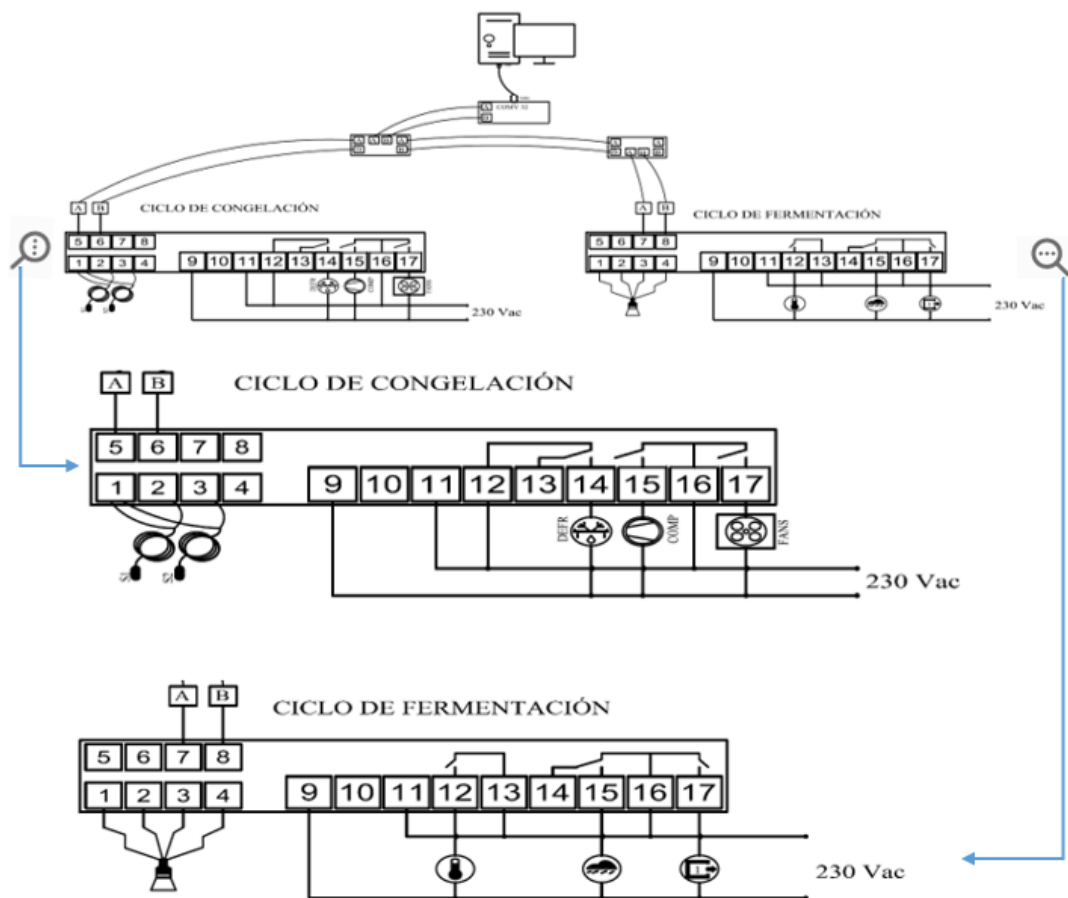


Figura 3. 4 Diagrama general unificado de control del prototipo (Nótese la ampliación)

Fuente: AUTOR

En la Figura 3.3 se indica el diagrama de control del ciclo de congelación y fermentación, estos ciclos están controlados respectivamente por los controladores Full Gauge TC-900E LOG y MT-530 E SUPER, quienes realizan un control ON/OFF.

3.2.1 CONFIGURACIÓN DEL LAZO DE CONTROL EN CICLO DE CONGELACIÓN

Comandado por el controlador Full Gauge TC-900E LOG. Este controlador dispone de 3 salidas controladas

- Compresor exterior (pin 15)
- Ventiladores de la unidad evaporadora (pin 17)
- Defross (pin 14)

Los pines 12 y 16 son los terminales comunes

Los pines 9 y 11 son la alimentación eléctrica para el controlador 220v

Los pines 1 y 2 son para la sonda ambiente

Los pines 3 y 4 son para la sonda evaporadora

Los pines superiores A y B son los de comunicación que van conectados al conversor conv32 para la conexión serial a la PC.

3.2.2 CONFIGURACIÓN DEL LAZO DE CONTROL EN CICLO DE FERMENTACIÓN

Comandado por el controlador Full Gauge MT-500E SUPER. Este controlador dispone de 3 salidas controladas

- Thermal (resistencia) pin 12
- Humedad (solenoides) pin 15
- Auxiliar pin 17

Los pines 13 y 16 son los terminales comunes.

Los pines 9 y 11 son la alimentación eléctrica para el controlador 220v

Los pines 1 y 2 son para la sonda termal

Los pines 3 y 4 son para la sonda de humedad

Los pines superiores A y B son los de comunicación que van conectados al conversor conv32 para la conexión serial a la PC

3.2.3 CONEXIONES DE DIAGRAMAS DE FUERZA

En esta sección se detallan los diagramas de conexiones del circuito de fuerza de las etapas de refrigeración y fermentación respectivamente,

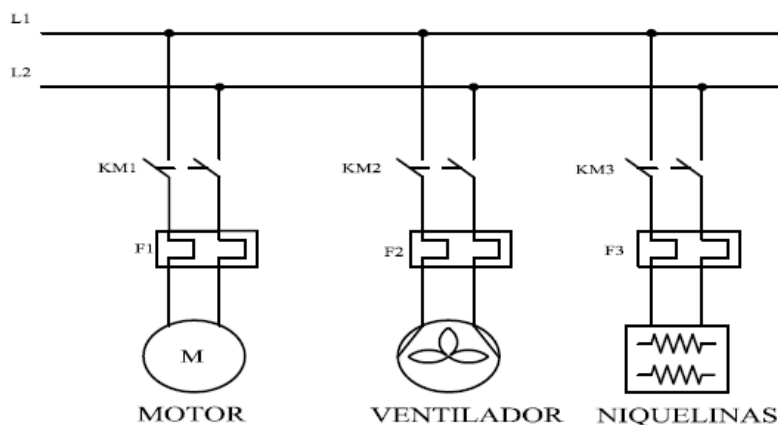


Figura 3. 5 Circuito de Fuerza de la etapa de refrigeración del prototipo

Fuente: AUTOR

En la figura 3.4 se especifica el diagrama de fuerza de la etapa de refrigeración, cuyos actuadores finales son un Motor, ventilador y niquelinas, quienes serán activados o desactivados de acuerdo la etapa del proceso en la que se encuentre, es decir, cuando se desee subir o bajar la temperatura interna del prototipo, dicho ciclo obedece estrictamente al diagrama de control y a las constantes establecidas.

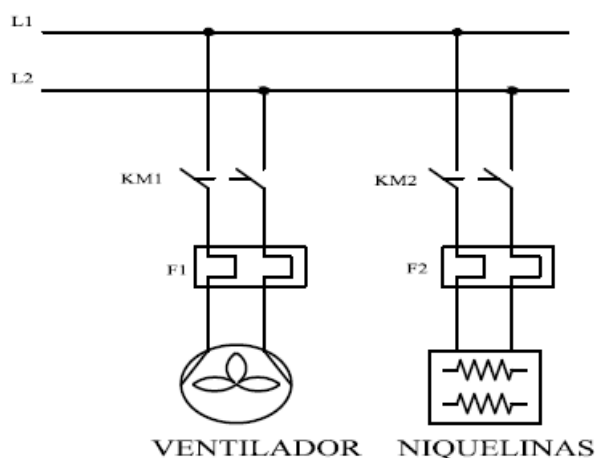


Figura 3. 6 Circuito de Fuerza de la etapa de fermentación del prototipo

Fuente: AUTOR

En la figura 3.5 se especifica el diagrama de fuerza de la etapa de fermentación, cuyos actuadores finales son un ventilador y niquelinas, dentro de las niquelinas esta la actuación del caldero de vapor, cuyo principio de funcionamiento está basado en el calentamiento de agua a temperaturas altas mediante la activación de niquelinas para generar presión de vapor.

3.3 SOFTWARE PARA LA SUPERVISIÓN Y MONITOREO DE VARIABLES EN TIEMPO REAL

Se utilizó el software Sitrad Pro perteneciente a la marca de controladores Full Gauge, con el cual se monitorea las variables del proceso en tiempo real.

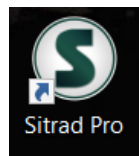


Figura 3. 7 Software Sitrad Pro

Fuente: AUTOR

La comunicación entre el computador y el controlador se realiza mediante el estándar RS-485. Para lo conexión con el ordenador existe un adaptador de RS-485 a USB (véase la Figura 3.7).



Figura 3. 8 Tipo de comunicación

Fuente: AUTOR

En las Figuras 3.8 y figura 3.9 se especifica los parámetros a llenar para la creación y validación de un usuario dentro de la aplicación. Una vez creado y validado el usuario se accede a las funciones del programa informático (véase la Figura 3.10).

Figura 3. 9 Creación de usuario

Fuente: AUTOR

Figura 3. 10 Creación de usuario

Fuente: AUTOR

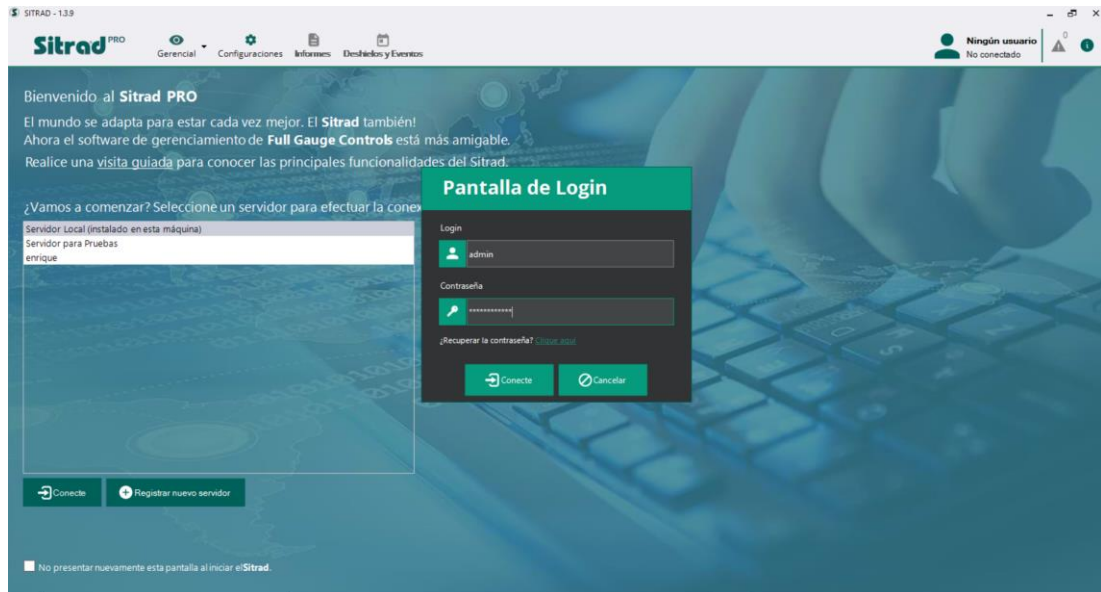


Figura 3. 11 Acceso al Software

Fuente: AUTOR

En la sección agregar nuevo controlador (véase la Figura 3.11) podemos buscar los controladores que se encuentren enlazados con el computador mediante el cable serial. En la figura 3.12 se observa la detección del controlador que se está utilizando

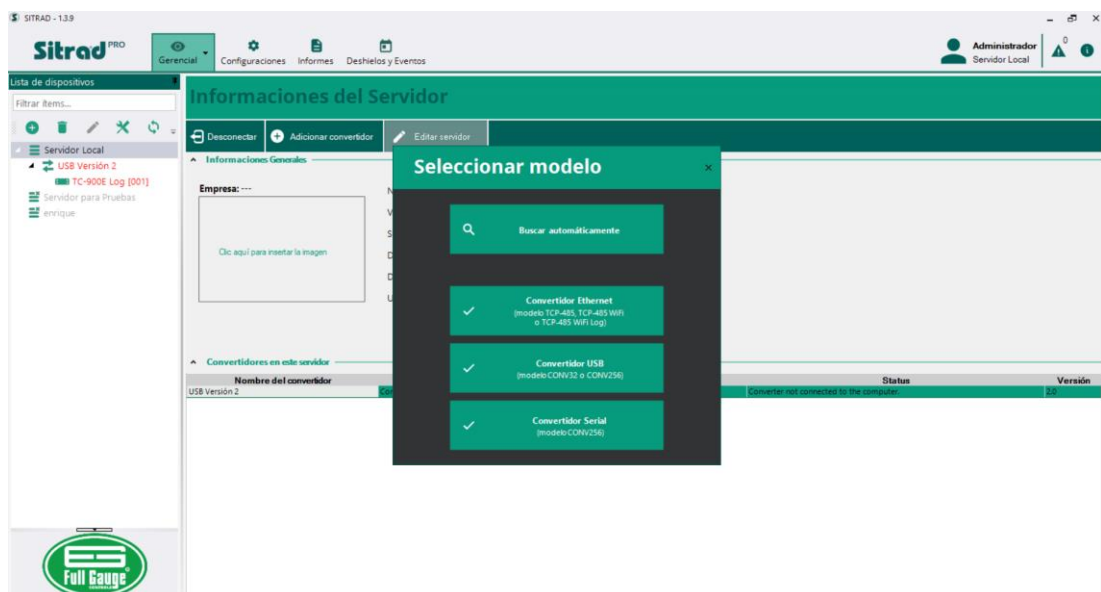


Figura 3. 12 Selección de controlador

Fuente: AUTOR

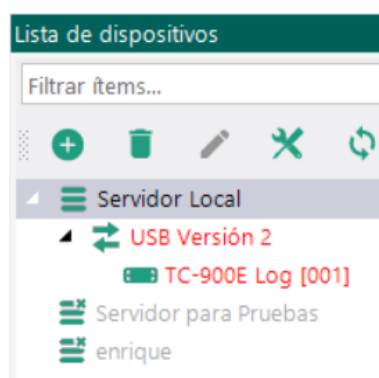


Figura 3. 13 Controlador detectado y seleccionado

Fuente: AUTOR

En la figura 3.13 se observa el monitoreo en tiempo real del controlador previamente seleccionado, en la cual podemos configurar los parámetros remotamente.

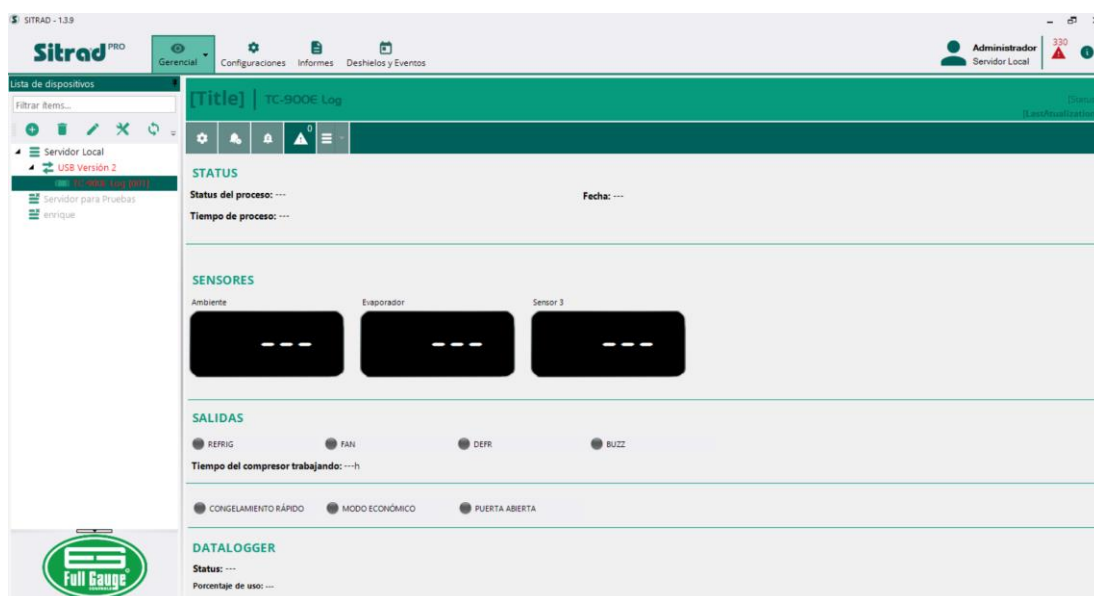


Figura 3. 14 Pagina de monitoreo y supervisión en tiempo real

Fuente: AUTOR

3.4 DETALLES DEL CONTROL

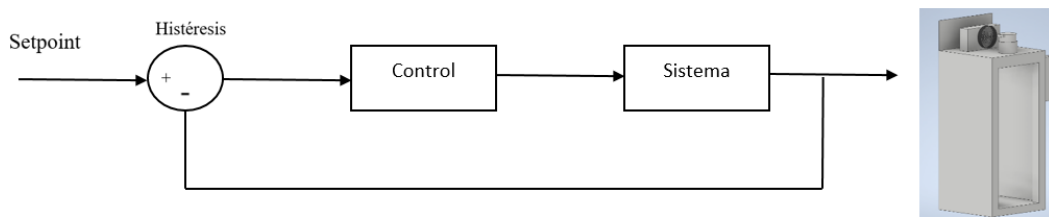


Figura 3. 15 Sistema de control del prototipo

Fuente: AUTOR

El principio de control del prototipo se basa en un control ON/OFF (Característica de controladores seleccionados), mediante un setpoint (Mínimo y Máximo) se establece las condiciones de trabajo de las variables en proceso, en este caso, la temperatura (Frio o Calor) y humedad, el controlador mediante un diferencial de temperatura (Histéresis) activa o desactiva los actuadores del proceso con la finalidad de mantener el setpoint previamente establecido. De esta manera se garantiza que los rangos de humedad y temperaturas se mantengan dentro del valor de las constantes establecidas en las variables. El sensor (Termocupla) se encarga de retroalimentar al sistema, es decir, dicho sensor proporciona información al controlador sobre el diferencial de temperatura.

Para alcanzar el control de la fermentación de la masa es necesario aplicar calor, humedad y frio. La variable a controlar en el proceso de refrigeración es la temperatura (Frio), mientras que en el proceso de fermentación es la temperatura (Calor) y humedad.

Para acelerar el proceso de fermentación de la masa es necesario alcanzar una temperatura (Calor) de 29°C hasta 35°C , con un porcentaje del 75% de humedad dentro de la cámara, estos valores son las constantes establecidas en las variables en el proceso.

Para bloquear o parar de forma rápida el proceso de fermentación, es necesario alcanzar una temperatura (Frio) de -5°C hasta 0°C , una vez bloqueado el proceso de fermentación se la refrigera a 2°C , estos valores son las constantes establecidas en las variables en el proceso.

Tabla 4. 1 Resumen del control del prototipo

Fuente: AUTOR

VARIABLE	CICLO	ACTUADOR	CONTROL	CONTROLADOR	VALOR
Temperatura	Refrigeración	Motor	ON/OFF	Full Gauge MT- 900 e Log	2°C
		Ventilador	ON/OFF		hasta
		Resistencias	ON/OFF		5 °C
Humedad	Fermentación	Solenoides	ON/OFF	Full Gauge MT- 530 E.	75% de
Temperatura		Niquelina	ON/OFF		humedad
		Ventilador	ON/OFF		29°C
					hasta
					35°C

CAPÍTULO 4: PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 MONITOREO Y SUPERVISIÓN DE VARIABLES EN TIEMPO REAL

Mediante el uso del software Sitrad Pro previamente descrito, comprobamos el valor de las variables en proceso (Temperatura) en la PC de forma remota, dicha información se corrobora con los valores de las variables indicadas en los controladores instalados en el tablero de control.

4.1.1 MONITOREO EN LA ETAPA DE REFRIGERACIÓN

En la figura 4.1, en la parte superior (Tablero de control), se observa el valor actual de temperatura en el ciclo de refrigeración 19.3 °C la cual está descendiendo, mientras que en la parte inferior (PC) se observa 19.4°C, teniendo una diferencia de 0.1 °C, dicha diferencia se asumen al tiempo de lectura por parte del Software al controlador, la cual es despreciable, de esta manera comprobamos el correcto monitoreo y supervisión en tiempo real de las variables en proceso remotamente.



Figura 4. 1 Temperatura en el ciclo de refrigeración

Fuente: AUTOR

4.1.2 MONITOREO EN LA ETAPA DE FERMENTACIÓN

En la figura 4.2, en la parte superior (Tablero de control), se observa el valor actual del porcentaje de humedad dentro del prototipo 75.9%, mientras que en la parte inferior (PC) se observa un porcentaje de humedad del 75.9%, de esta manera comprobamos el correcto monitoreo y supervisión del porcentaje de humedad en tiempo real.



Figura 4. 2 Porcentaje de humedad en el ciclo de fermentación

Fuente: AUTOR

En la figura 4.3, en la parte superior (Tablero de control), se observa el valor actual de temperatura en el ciclo de fermentación 19.0 °C, mientras que en la parte inferior (PC) se observa 19.0°C, de esta manera comprobamos el correcto monitoreo y supervisión en tiempo real de las variables en proceso remotamente.



Figura 4. 3 Temperatura en el ciclo de fermentación

Fuente: AUTOR

4.2 PRUEBA DE LEUDADO EN LA MASA-PAN

El proceso de leudado de la masa-pan, es comprobable al evidenciar que dicha masa se expande por las propiedades mismas de la fermentación (Leudado).

En la Figura 4.4 observamos la masa de pan previamente elaborada, dicha masa aún no ha sido leudada y tiene una longitud aproximada de 13.1 cm



Figura 4. 4 Masa-pan sin leudar

Fuente: AUTOR



Figura 4. 5 Bandejas portadoras de masa-pan

Fuente: AUTOR



Figura 4. 6 Masa-pan después del leudado

Fuente: AUTOR

En la figura 4.6 se observa una longitud de 14.2cm de la masa-pan después de haber sido leudado, dicha masa estuvo 20 minutos dentro de la cámara de fermentación a una temperatura de 30°C y a un porcentaje de humedad del 77%.

Al comparar la masa-pan antes y después (Figura 4.4 vs Figura 4.6) de pasar por el proceso de leudado, se aprecia una expansión de la masa de 1.1cm en 20 minutos, de esta manera se comprueba del correcto funcionamiento de la cámara de fermentación (Leudado)

De forma artesanal o casera, la expansión del 1.1 cm de la masa se la obtuvo en 4 horas en temperatura ambiente.

Basado en el análisis anterior, se evidencia que el prototipo de cámara de fermentación acelera el proceso de la fabricación de pan, lo cual aumenta los índices de producción y ganancia dentro de la línea de producción de pan.

4.3 RESPUESTAS Y COMPORTAMIENTOS DE LOS SISTEMAS DE CONTROL

En esta sección se detalla todas las respuestas y comportamientos de las etapas del control en sus diferentes procesos, partiendo desde los valores de trabajo (setpoint) hasta las respuestas a perturbaciones realizadas.

4.3.1 ETAPA DE REFRIGERACIÓN

Para iniciar el proceso de refrigeración se establece las constantes de trabajo (Setpoint), dichos valores se pueden introducir de forma manual directamente en el controlador mediante las opciones que el mismo presta, o de forma virtual mediante el software de trabajo explicado en el capítulo 3. También se establece la histéresis (diferencial de temperatura) la cual será la encargada de fijar un rango de temperatura sobre el punto de operación. Cuando la variable controlada ingrese en este rango se considerará que el sistema está controlado. Esto ayuda a que el actuador no sufra o se desgaste ya que el control es de tipo ON/OFF.

En la Figura 4.7 se visualiza la constante de trabajo establecida de forma virtual, en este caso $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, mientras que en la Figura 4.8 la misma constante se la establece de forma manual, de esta manera se demuestra las dos formas de establecer los valores de operación.

Lista de dispositivos

Filtrar items...

Servidor Local

USB Versión 2

MT-530E Super [001]

TC-900E Log [002]

Servidor para Pruebas

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
SALESIANA
ECUADOR

TC-900E Log [002]

Volver

Código	Descripción	Valor mín.	Valor máx.	Unidad	Valor actual
F25	Número de deshielos por día (Lunes a Viernes)	1	12		4
F26	Horario preferencial para iniciar deshielo (Lunes a Viernes)	00:00	23:50	hh:mm	06:00
F27	Número de deshielos por día (Sábado)	1	12		4
F28	Horario preferencial para iniciar el deshielo (Sábado)	00:00	23:50	hh:mm	06:00
F29	Número de deshielos por día (Domingo)	1	12		4
F30	Horario preferencial para iniciar deshielo (Domingo)	00:00	23:50	hh:mm	06:00
F31	Setpoint normal	-20,0	5,0	°C	-5,0
F32	Setpoint económico (SPE)	-20,0	5,0	°C	-10,0
F33	Diferencial de control setpoint económico (histéresis)	0,1	20,0	°C	5,0
F34	Tiempo de puerta cerrada para entrar en modo económico	0	999	min	0
F35	Diferencia de temperatura (S3-S1) debajo de la cual es activado el setpoint económico	0,1	5,0	°C	2,0
F36	Diferencia de temperatura (S3-S1) arriba de la cual es activado el setpoint normal	2,0	20,0	°C	5,0
F37	Tiempo máximo en el modo económico	0	100	hor	0
F38	Límite de temperatura para Fast Freezing	-50,0	105,0	°C	-25,0
F39	Tiempo máximo de Fast Freezing	0	999	min	0
F40	Tiempo de ventilador conectado	1	99	min	2
F41	Tiempo de ventilador desconectado	1	99	min	8
F42	Tiempo de compresor conectado en caso de falla en el S1	0	999	min	0
F43	Tiempo de compresor desconectado en caso de falla en el S1	0	999	min	0

Descripción de la función

Es la temperatura deseada en el ambiente a ser refrigerado. Es el valor de referencia para el control de la temperatura.

F31

Setpoint normal

-20,0

5,0

°C

-5,0

Figura 4. 7 Constantes de trabajo establecidas (Set point) de forma virtual.

Fuente: AUTOR



Figura 4. 8 Constantes de trabajo establecidas (Set point) de forma manual

Fuente: AUTOR

En la Figura 4.9 se visualiza la histéresis establecida de forma virtual, en este caso un diferencial de 5 °C.

Lista de dispositivos

Filtrar items...

- Servidor Local
 - USB Versión 2
 - MT-530E Super [001]
 - TC-900E Log [002]
 - Servidor para Pruebas

TC-900E Log [002]

Volver

Código	Descripción	Valor mín.	Valor máx.	Unidad	Valor actual
F00	Modo de funcionamiento del controlador	0	1		1
F01	Deshielos por programación horaria	0	2		0
F02	Diferencial de control (histéresis normal)	0,1	20,0	°C	5,0
F03	Mínimo setpoint permitido al usuario final	-50,0	5,0	°C	-20,0
F04	Máximo setpoint permitido al usuario final	-20,0	105,0	°C	5,0
F05	Retardo en la partida (energización)	0	30	min	1
F06	Alarma de temperatura ambiente baja (S1)	-50,0	30,0	°C	-50,0
F07	Alarma de temperatura ambiente alta (S1)	-50,0	105,0	°C	30,0
F08	Tiempo en refrigeración (Intervalo entre deshielos)	1	5999	min	120
F09	Tiempo mínimo de compresor conectado	0	999	sec	0
F10	Tiempo mínimo de compresor desconectado	0	999	sec	0
F11	Situación del compresor con sensor ambiente (S1) desconectado o dañado	0	2		1
F12	Deshielo en la partida (arranque) del instrumento	0 - No	1 - SI		0 - No
F13	Temperatura en el evaporador (S2/S3) para determinar el final del deshielo	-50,0	105,0	°C	30,0
F14	Duración máxima del deshielo	0	90	min	8
F15	Ventilador conectado durante el deshielo	0 - No	1 - SI		0 - No
F16	Tipo de deshielo	0	1		0
F17	Indicación de temperatura (S1) trabada durante el deshielo	-1	99	min	-1
F18	Tiempo de drenaje (goteo del agua de deshielo)	0	99	min	1

Descripción de la función

Es la diferencia de temperatura (histéresis) entre CONECTAR y DESCONECTAR la salida de control de refrigeración en el modo normal y Fast freezing.

F02	Diferencial de control (histéresis normal)	0,1	20,0	°C	5,0
-----	--	-----	------	----	-----

Figura 4. 9 Histéresis de trabajo establecida de forma virtual

Fuente: AUTOR

Una vez establecidas las constantes de trabajo el controlador inicia el proceso activando los actuadores (Unidad evaporadora y condensadora) para alcanzar dichas constantes de operación (Setpoint).

En el software de monitoreo, la etiqueta denominada REFRIG indica cuando la unidad condensadora se encuentra activada y la etiqueta FAN cuando la unidad evaporadora se encuentra activada, en este caso, como la temperatura en el interior de la cámara se encuentra en -4.7°C están activadas la unidad condensadora y evaporadora hasta alcanzar la temperatura de refrigeración -5°C establecidos en el setpoint (véase la Figura 4.10).

Dentro del prototipo tenemos dos sensores (Termocuplas), el primero se encuentra ubicado en el interior de la cámara, este será el encargado de captar el valor de trabajo establecido (Setpoint), mientras que el segundo se encuentra ubicado dentro de la unidad evaporadora como referencia, evidenciando que la temperatura en los actuadores desciende más rápido que en el espacio de trabajo. Dichos actuadores obligan al proceso a alcanzar su temperatura de trabajo en el menor tiempo posible. Para este caso los valores de trabajo se alcanzan a los 13 minutos

En el software de monitoreo, en la parte de sensores, denominamos como ambiente al sensor que está sensando la temperatura dentro de la cámara, y evaporador al sensor que se encuentra sensando la temperatura dentro de los actuadores (véase la Figura 4.10).

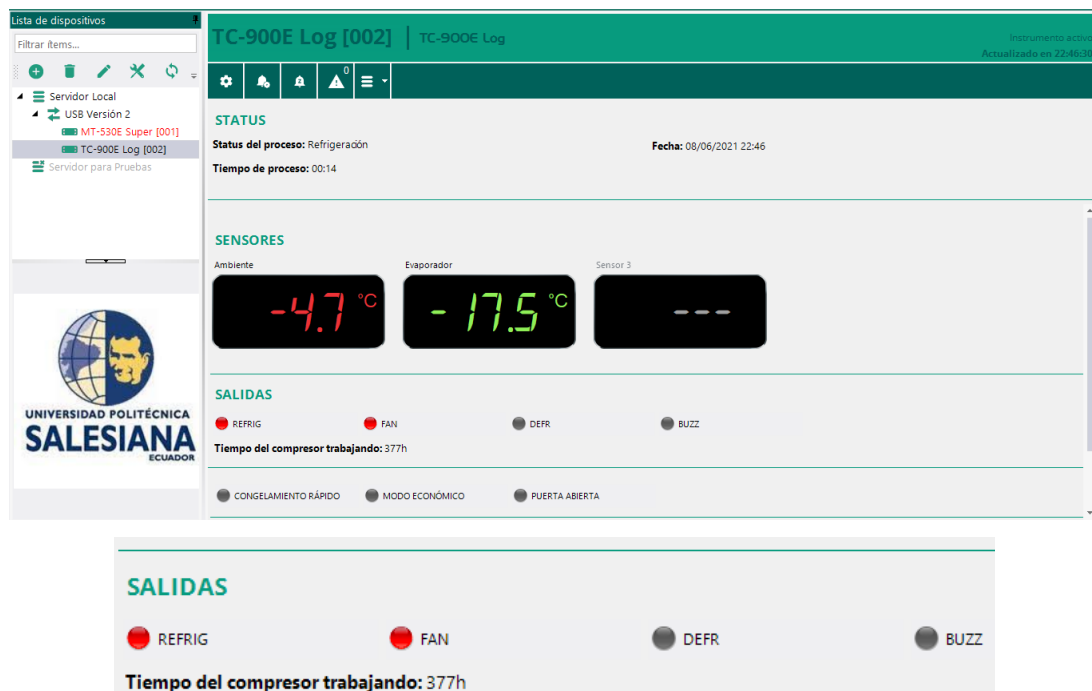


Figura 4. 10 Monitoreo del proceso de refrigeración en tiempo real

Fuente: AUTOR

En la figura 4.11 apreciamos que la temperatura de refrigeración en el interior de la cámara ya se encuentra en $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, dicho valor fue la constante de trabajo establecida (Setpoint), por ende el controlador automáticamente desactiva la unidad condensadora para que no siga enfriando, dejando activada la unidad evaporadora para mantener la temperatura de operación.

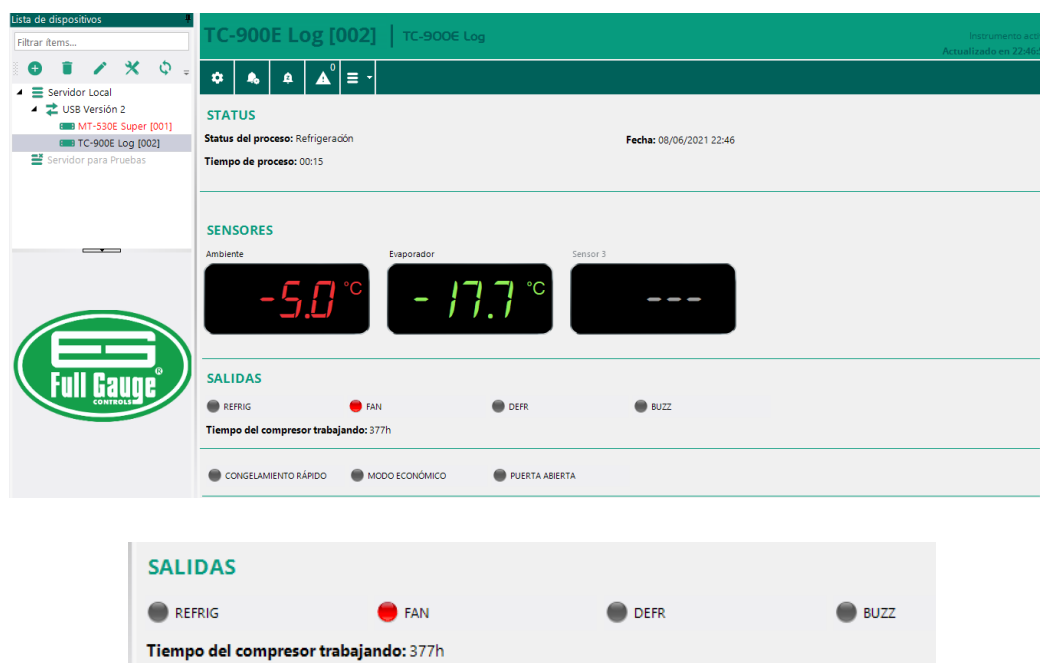


Figura 4. 11 Monitoreo del proceso de refrigeración

Fuente: AUTOR

Mediante el software de monitoreo podemos visualizar el comportamiento del proceso, en la cual se aprecia que la temperatura desciende hasta alcanzar el Setpoint. La señal verde pertenece al comportamiento de la temperatura en el interior de la cámara, (véase la Figura 4.12).

Parámetros configurados en el controlador.

Primer Setpoint: $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$

Segundo Setpoint: $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$

Histéresis: $3\text{ }^{\circ}\text{C}$



Figura 4. 12 Señal de salida

Fuente: AUTOR

Primera Perturbación: Abertura de puerta del prototipo

Segunda Perturbación: Calentamiento del sensor interno del prototipo

En base a la señal de salida mostrada en la Figura 4.12 podemos establecer lo siguiente:

1.- El proceso inició con una temperatura de 15 °C la cual descendió hasta alcanzar su primer valor de operación (Setpoint -5 °C) , una vez alcanzó su valor de operación el proceso se mantiene oscilando alrededor de la zona de histéresis establecida.

2.- El proceso de refrigeración inicio a las 21:07:58 pm y finalizo a las 0:17:10 pm, dando un tiempo de trabajo y muestreo de la señal de salida de 4 horas con 10 minutos y 12 segundos.

3.- Como prueba siguiente se estableció un segundo Setpoint de -10 °C para visualizar el comportamiento del proceso, como se esperaba la temperatura volvió a descender y alcanzo su punto de ajuste sin problema, al igual que en el primer Setpoint el proceso se mantiene oscilando alrededor de la zona de histéresis establecida.

4.- La histéresis mencionada en los puntos anteriores es el diferencial de temperatura, dicho valor es el encargado de retroalimentar al sistema para la activación o desactivación de los actuadores cuando el sistema salga del rango de operación de esta manera queda demostrado que el controlador es de lazo cerrado dado que es retroalimentado en base a la (Histéresis) y controla de forma satisfactoria las constantes del proceso.

5.- La siguiente prueba consistió en perturbar el sistema sacándolo de su zona de operación para visualizar su comportamiento. Se abrió la puerta del prototipo dejando escapar la temperatura interna del mismo, el sistema al detectar el cambio de temperatura nuevamente activa sus actuadores obligando al proceso a regresar a su zona de trabajo.

6.- Como prueba final introducimos al sistema una segunda perturbación, la cual consistió en calentar el sensor interno del prototipo para sacar al proceso de su zona de operación. Como se esperaba el sistema al detectar nuevamente el cambio de temperatura realiza nuevamente los ajustes necesarios para regresar a su zona de trabajo.

7.- Superada todas las pruebas realizadas el sistema queda en el régimen permanente.

4.3.2 ETAPA DE FERMENTACIÓN

Para iniciar el proceso de fermentación, al igual que en la etapa de refrigeración primero se establece las constantes de trabajo (Setpoint) y la histéresis (diferencial de temperatura).

En esta etapa se controla dos variables, la temperatura (Calor) y el porcentaje de humedad dentro del prototipo, en la Figura 4.13 se visualiza las constantes de trabajo establecidas de forma virtual, en este caso una temperatura de $+35\text{ }^{\circ}\text{C}$ y un porcentaje de humedad del 75%.

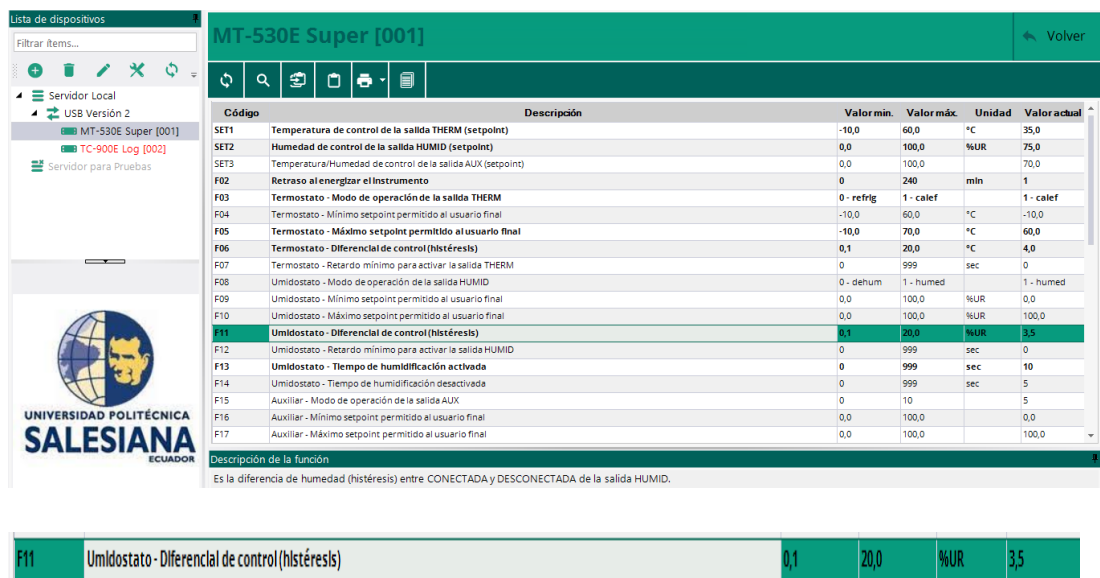


Figura 4. 15 Histéresis de trabajo establecida de forma virtual

Fuente: AUTOR

Una vez establecidas las constantes de trabajo el controlador inicia el proceso activando los actuadores (Niquelinas internas y mini caldero de vapor) para alcanzar dichas constantes de operación (Setpoint).

En el software de monitoreo, la etiqueta denominada THERM indica la activación o desactivación de la niquelina interna, y la etiqueta denomina HUMID cuando el mini caldero de vapor se encuentra activada o desactivado. En este caso, como la temperatura en el interior de la cámara ya se encuentra en 35.4 °C esta desactivada la niquelina, y como el porcentaje de humedad se encuentra en 42.2 % se encuentra activado el mini caldero de vapor hasta alcanzar el Setpoint del 75% de humedad (véase la Figura 4.16).

Dentro del prototipo tenemos dos sensores (Termocupla y sensor de humedad), los dos se encuentran ubicados en el interior de la cámara respectivamente, el primero es el encargado de medir el valor real de la temperatura interna, y el segundo el porcentaje de humedad dentro del prototipo.

En el software de monitoreo, en la parte de sensores, denominamos como Temperatura al sensor que está sensando la temperatura interna de la cámara, y

Humedad al sensor que se encuentra sensando el porcentaje de humedad dentro del prototipo (véase la Figura 4.16).

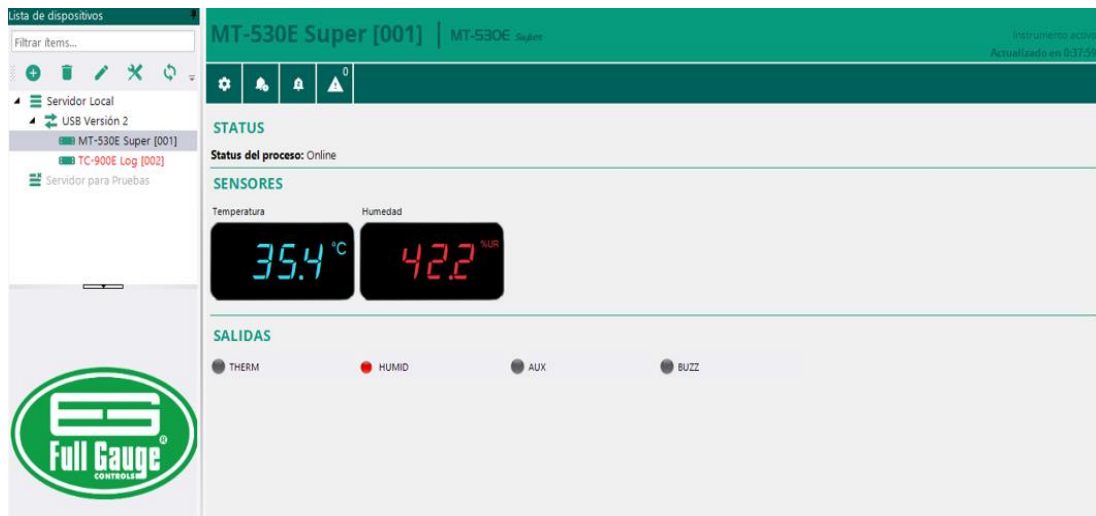


Figura 4. 16 Monitoreo del proceso de fermentación en tiempo real

Fuente: AUTOR

Mediante el software de monitoreo podemos visualizar el comportamiento de la señal de salida del proceso (véase la Figura 4.17).

Parámetros:

Primer Setpoint: 25 °C

Segundo Setpoint: 30 °C

Histéresis: 3 °C

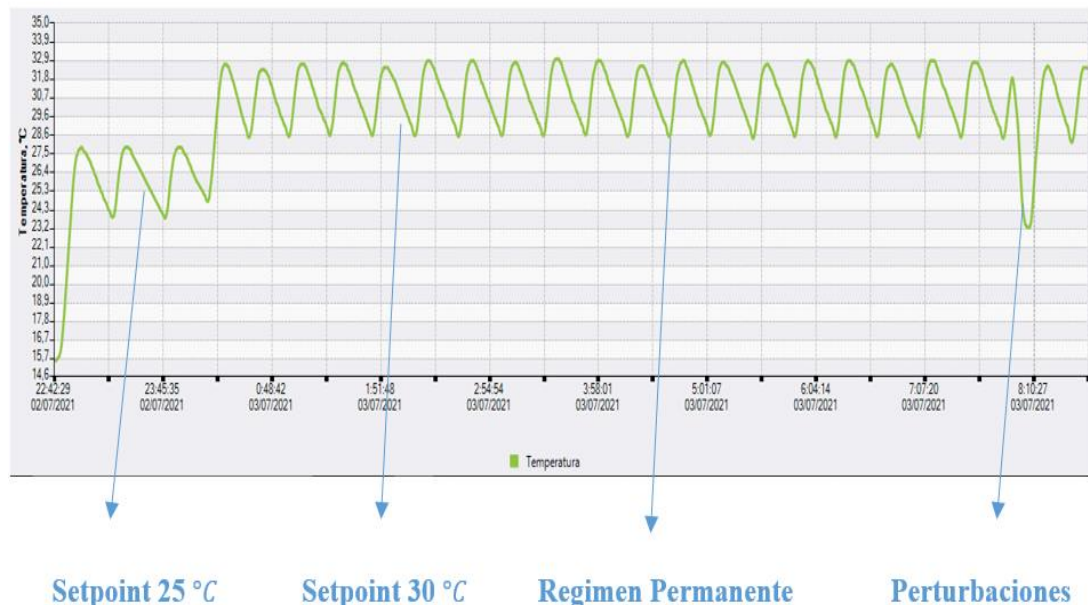


Figura 4. 17 Señal de salida del proceso de fermentación

Fuente: AUTOR

Perturbación: Abertura de puerta del prototipo

En base a la Figura 4.17 podemos establecer lo siguiente:

- 1.- El proceso inició con una temperatura de 15.7 °C la cual ascendió hasta alcanzar su primer valor de operación (Setpoint 25 °C) , una vez alcanzó su valor de operación el proceso se mantiene oscilando entre la zona de histéresis establecida.
- 2.- El proceso de fermentación inicio a las 22:42:29 pm y finalizo a las 8:10:27 am, dando un tiempo de trabajo y muestreo de la señal de salida de 9 horas con 28 minutos y 58 segundos.
- 3.- Como prueba siguiente se estableció un segundo Setpoint de 30 °C para visualizar el comportamiento del proceso, como se esperaba la temperatura volvió a ascender y alcanzo su punto de ajuste sin problema, al igual que en el primer Setpoint el proceso se mantiene oscilando entre la zona de histéresis establecida.
- 4.- Después del segundo Setpoint dejamos al sistema en su régimen permanente para después perturbarlo y ver su comportamiento.

5.- La perturbación del sistema consistió en abrir la puerta del prototipo dejando escapar la temperatura interna del mismo, dicho valor de temperatura descendió y el sistema al detectar el cambio de temperatura nuevamente activa sus actuadores obligando al proceso a regresar a su régimen permanente.

CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Finalizado el diseño y ensamblaje del prototipo planteado, se cumple con el objetivo principal que trata de mejorar la línea de producción de pan, gracias a la optimización de recursos (Tiempo) para el proceso de fermentación de masa-pan.

Basados en el funcionamiento de nuestro equipo podemos hacer una comparativa de los controladores utilizados de la marca full gauge con un PLC, donde desde nuestro punto de vista los controladores tienen su ventaja en caso de un posible daño, ya que estos pueden reemplazarse con facilidad y poder programarlos de inmediato, además son de un valor económico inferior al PLC, y su programación es amigable con el usuario.

Basados en la etapa de fermentación, fue indispensable el diseño y construcción de un generador de vapor externo, de esta manera garantizamos la alta generación de vapor que inyectamos a la cámara. El vapor al estar a una alta temperatura beneficia al aumento de la temperatura interior.

El prototipo al ser doble propósito (Refrigeración - Fermentación), aumenta la producción e ingresos al panadero, dado que la masa excedente de la producción diaria puede ser refrigerada para preservarla.

Basados en las señales mostradas en la etapa de pruebas, podemos concluir que la Histéresis o diferencial de temperatura cumple un rol muy importante dentro del proceso de fermentación y refrigeración dado que es la encargada de retroalimentar al sistema en caso de errores, este valor al ser programable por el usuario nos permite mantener una banda de operación con la cual evitamos errores de temperatura.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] H. Ruiz, “Importancia de la fermentación en la panificación,” *Minist. Econ. Gob. el Salvador*, 2016.
- [2] C. Bruña, “Levadura Método de elaboración Pan de trigo integral,” *Univ. Politec. Madrid*, p. 5, 2019.
- [3] Francisco Astudillo (Ingeniero mecanico escuela politecnica nacional), “Diseño y simulación de un control automático para una camara de fermentación de pan por medio de un autómatas programable,” Escuela Politecnica Nacional, 2016.
- [4] H. Ecuador, “Adeucarpi - Cámara de Fermentación,” 2020. [Online]. Available: <https://hosteleriaecuador.com/producto/camara-de-fermentacion/>. [Accessed: 10-Aug-2020].
- [5] Icaro-hornos, “Camaras de Leudo|Ecuador|Icaro,” 2019. [Online]. Available: <https://www.hornosicaro.com/camaras-de-leudo-icaro>. [Accessed: 10-Aug-2020].
- [6] Corempo, “Cámara de Leudo o fermentación - Corempo S.A,” 2020. [Online]. Available: <https://www.corempo.com/producto/camara-de-leudo-o-fermentacion/>. [Accessed: 10-Aug-2020].
- [7] F. G. Controllers, “MT-530 Super,” Estados Unidos y Canadá, 2016.
- [8] F. G. Controllers, “TC-900 E Log,” Estados Unidos y Canadá, 2016.

APÉNDICES

APÉNDICE A: MEDIDAS DE LA ESTRUCTURA MECÁNICA DEL PROTOTIPO

Acontinuación se muestran las medidas reales del prototipo.

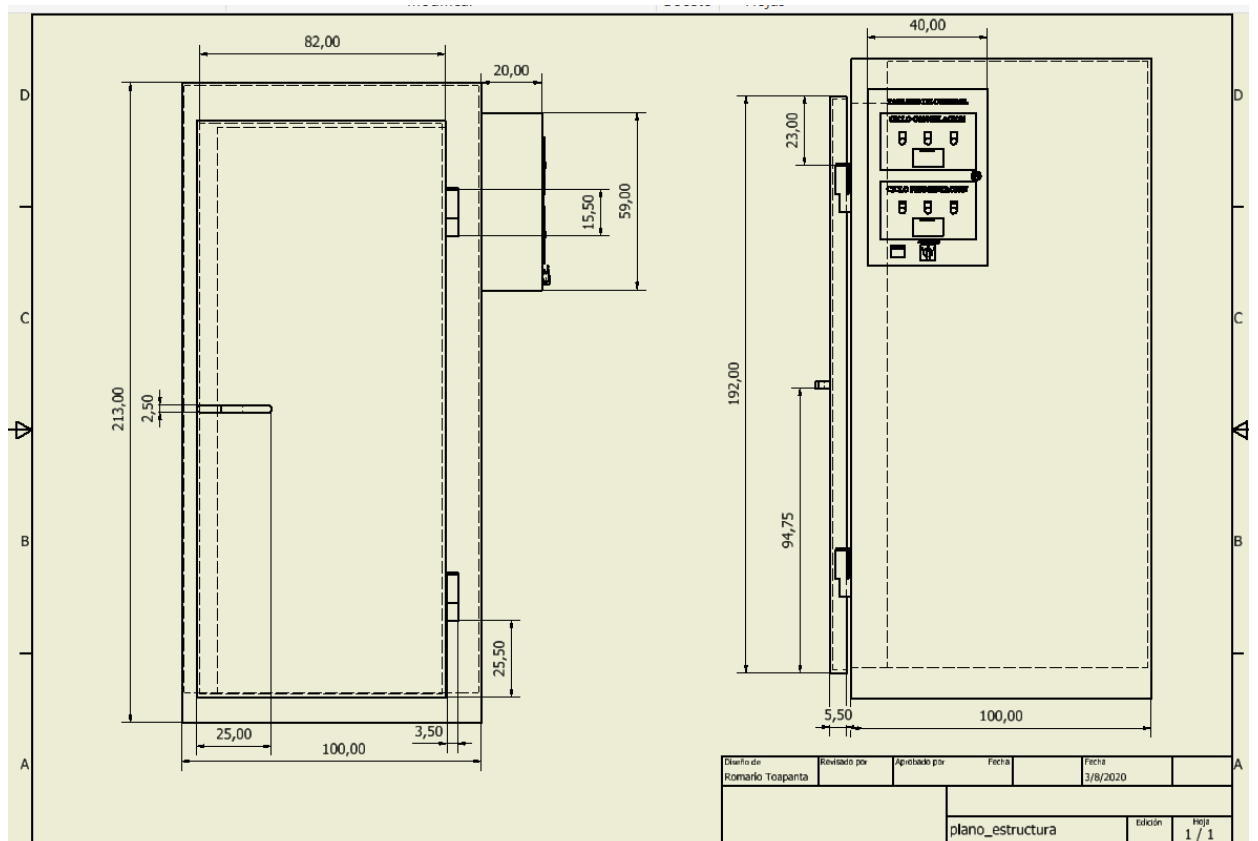


Figura A. 1 Dimensiones de la estructura mecánica del prototipo

Fuente: AUTOR

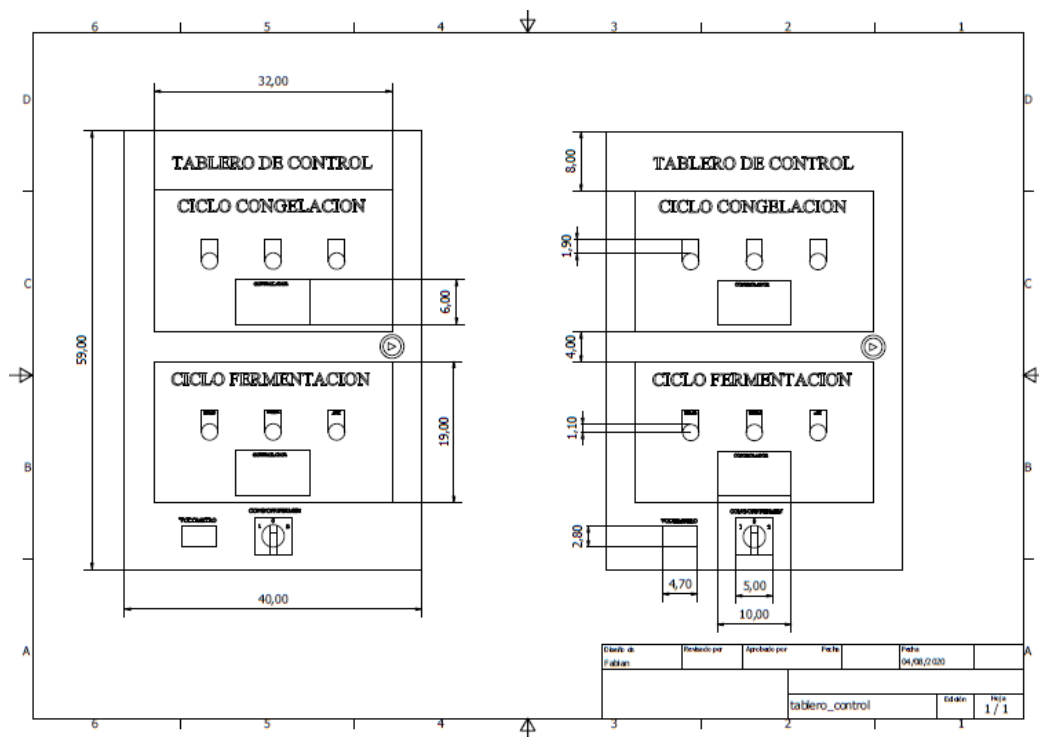


Figura A. 2 Dimensiones del tablero de control del prototipo

Fuente: AUTOR

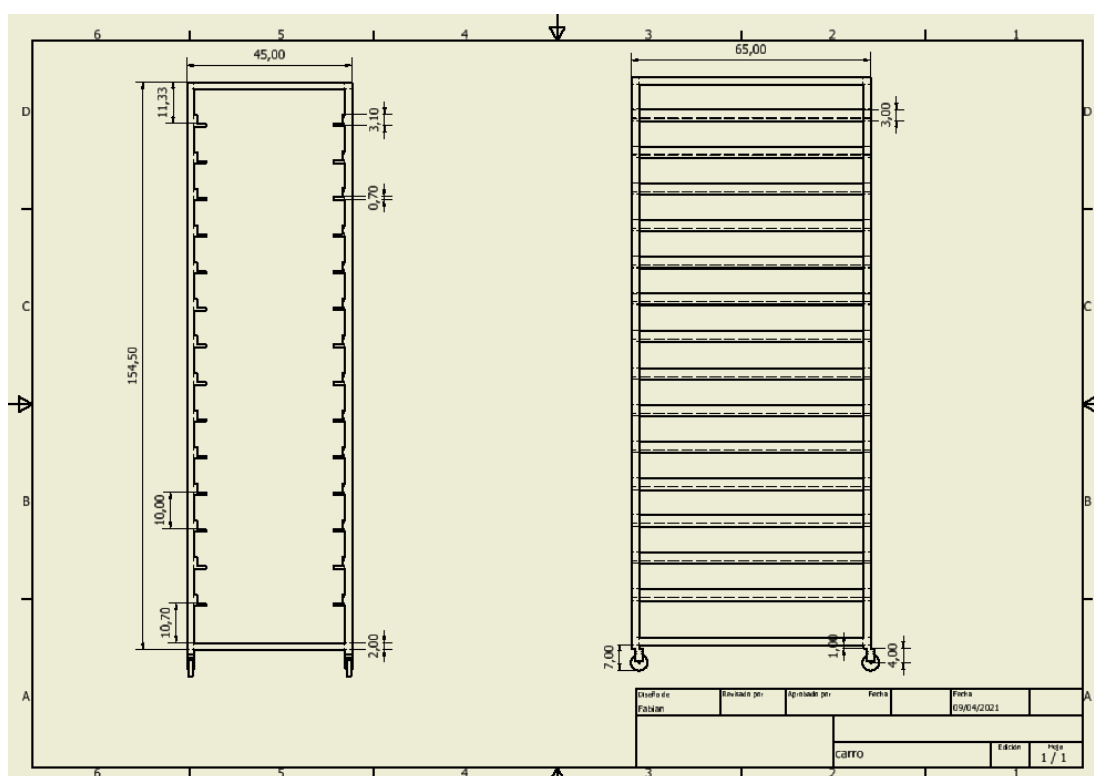


Figura A. 3 Dimensiones del porta bandejas del prototipo

Fuente: AUTOR

APÉNDICE C: PARÁMETROS A PROGRAMAR

C.1 CONTROLADOR MT-530 E SUPER (CICLO FERMENTACIÓN)

Fun	Descripción	CELSIUS				FAHRENHEIT			
		Min	Máx	Unid	Padrón	Min	Máx	Unid	Padrón
F 01	Código de acceso: 123 (ciento veintitrés)	-99	999	-	-	-99	999	-	-
F 02	Modo de operación de termostato (salida THERM)	0 - refrig.	1 - calent.	-	0 - refrig.	0 - refrig.	1 - calent.	-	0 - refrig.
F 03	Mínimo setpoint permitido al usuario final (termostato)	-10.0	70.0	°C	-10.0	14	158	°F	14
F 04	Máximo setpoint permitido al usuario final (termostato)	-10.0	70.0	°C	70.0	14	158	°F	158
F 05	Diferencial de control (histéresis) del termostato	0.1	20.0	°C	1.5	1	36	°F	3
F 06	Retardo mínimo para activar la salida THERM	no	999	seg.	no	no	999	seg.	no
F 07	Modo de operación de la salida HUMID (humidostato)	0 - deshum.	1 - humid.	-	1 - humid.	0 - deshum.	1 - humid.	-	1 - humid.
F 08	Mínimo setpoint permitido al usuario final (humidostato)	0	100	%HR	0	0	100	%HR	0
F 09	Máximo setpoint permitido al usuario final (humidostato)	0	100	%HR	100	0	100	%HR	100
F 10	Diferencial de control (histéresis) del humidostato	0.1	20.0	%HR	5	0.1	20.0	%HR	5
F 11	Retardo mínimo para activar la salida HUMID	no	999	seg.	no	no	999	seg.	no
F 12	Tiempo de humidificación activada	0	999	seg.	5	0	999	seg.	5
F 13	Tiempo de humidificación desactivada	0	999	seg.	5	0	999	seg.	5
F 14	Modo de operación de la salida AUX (auxiliar)	0	10	-	5	0	10	-	5
F 15	Mínimo setpoint permitido al usuario final (salida AUX)	0	100	-	0	0	100	-	0
F 16	Máximo setpoint permitido al usuario final (salida AUX)	0	100	-	100	0	100	-	100
F 17	Diferencial de control (histéresis) de la salida AUX	0.1	20.0	-	5	0.1	20.0	-	5
F 18	Retardo mínimo para activar la salida AUX	no	999	seg.	no	no	999	seg.	no
F 19	Base de tiempo del timer de la salida AUX	0	3	-	0	0	3	-	0
F 20	Tiempo de salida AUX activada	0	999	seg.	5	0	999	seg.	5
F 21	Tiempo de salida AUX desactivada	0	999	seg.	5	0	999	seg.	5
F 22	Alarma de temperatura ambiente baja	-10.0	70.0	°C	-10.0	14	158	°F	14
F 23	Alarma de temperatura ambiente alta	-10.0	70.0	°C	70.0	14	158	°F	158
F 24	Alarma de humedad ambiente baja	0	100	%HR	0	0	100	%HR	0
F 25	Alarma de humedad ambiente alta	0	100	%HR	100	0	100	%HR	100
F 26	Retardo mínimo para activar la salida AUX (modo alarma)	0	999	min.	0	0	999	min.	0

Figura C. 1 Valores a parametrizar

Fuente: Controlador Full Gauge MT-530 E Súper

F 27	Modo de operación del Buzzer	0	1	-	1	0	1	-	1
F 28	Punto de actuación del Buzzer por baja temperatura	-10.0	70.0	°C	-10.0	14	158	°F	14
F 29	Punto de actuación del Buzzer por alta temperatura	-10.0	70.0	°C	70.0	14	158	°F	158
F 30	Punto de actuación del Buzzer por baja humedad	0	100	%HR	0	0	100	%HR	0
F 31	Punto de actuación del Buzzer por alta humedad	0	100	%HR	100	0	100	%HR	100
F 32	Tiempo máximo de la salida THERM accionada para disparar la alarma	no	999	min.	no	no	999	min.	no
F 33	Tiempo máximo de la salida HUMID accionada para disparar la alarma	no	999	min.	no	no	999	min.	no
F 34	Tiempo máximo de la salida AUX accionada para disparar la alarma	no	999	min.	no	no	999	min.	no
F 35	Tiempo de Buzzer ligado	0	999	seg.	1	0	999	seg.	1
F 36	Tiempo de Buzzer desligado	0	999	seg.	1	0	999	seg.	1
F 37	Tiempo de inhibición del Buzzer al ligar el controlador	0	999	min.	0	0	999	min.	0
F 38	Condición de las salidas en caso de alarma	0	1	-	0	0	1	-	0
F 39	Modo de visualización	0	2	-	0	0	2	-	0
F 40	Corrimiento de indicación de la temperatura (offset)	-5.0	5.0	°C	0	-9	9	°F	0
F 41	Corrimiento de indicación de la humedad (offset)	-20.0	20.0	%HR	0	-20.0	20.0	%HR	0
F 42	Tiempo para bloquear las funciones	no	60	seg.	no	no	60	seg.	no
F 43	Desactivación de las funciones de control	no	2	-	no	no	2	-	no
F 44	Dirección del instrumento en la red RS-485	1	247	-	1	1	247	-	1

Figura C. 2 Valores a parametrizar

Fuente: Controlador Full Gauge MT-530 E Súper

C.2 CONTROLADOR TC-900E LOG (CICLO REFRIGERACIÓN)

Fun	Descripción	CELSIUS (°C)				FAHRENHEIT (°F)			
		Min	Máx	Unid	Estándar	Min	Máx	Unid	Estándar
F00	Modo de funcionamiento del controlador	0	1	-	0	0	1	-	0
F01	Deshielos por programación horaria	0	2	-	0	0	2	-	0
F02	Diferencial de control (histéresis normal)	0.1	20	°C	2	1	36	°F	3
F03	Mínimo setpoint permitido al usuario final	-50	105	°C	-50	-58	221	°F	-58
F04	Máximo setpoint permitido al usuario final	-50	105	°C	105	-58	221	°F	221
F05	Retardo en la partida (energización)	0(NO)	30	min.	0(NO)	0(NO)	30	min.	0(NO)
F06	Alarma de temperatura ambiente baja (S1)	-50	105	°C	-50	-58	221	°F	-58
F07	Alarma de temperatura ambiente alta (S1)	-50	105	°C	105	-58	221	°F	221
F08	Tiempo en refrigeración (intervalo entre deshielos)	1	5999	min.	240	1	5999	min.	240
F09	Tiempo mínimo de compresor conectado	0(NO)	999	seg.	0	0(NO)	999	seg.	0
F10	Tiempo mínimo de compresor desconectado	0(NO)	999	seg.	0	0(NO)	999	seg.	0
F11	Situación del compresor con sensor ambiente (S1) desconectado o dañado	0	2	-	1	0	2	-	1
F12	Deshielo en la partida (arranque) del instrumento	NO	YES	-	NO	NO	YES	-	NO
F13	Temperatura en el evaporador (S2/S3) para determinar el final del deshielo	-50	105	°C	30	-58	221	°F	86
F14	Duración máxima del deshielo	0(NO)	90	min.	30	0(NO)	90	min.	30
F15	Ventilador conectado durante el deshielo	0(OFF)	1(ON)	-	0(OFF)	0(OFF)	1(ON)	-	0(OFF)
F16	Tipo de deshielo	0	1	-	0	0	1	-	0
F17	Indicación de temperatura (S1) trabada durante el deshielo	-1(NO)	99	min.	-1(NO)	-1(NO)	99	min.	-1(NO)

Figura C. 3 Valores a parametrizar

Fuente: Controlador Full Gauge TC-900E LOG

Fun	Descripción	CELSIUS (°C)				FAHRENHEIT (°F)			
		Min	Máx	Unid	Estándar	Min	Máx	Unid	Estándar
F18	Tiempo de drenaje (golpe del agua de deshielo)	0(NO)	99	min.	1	0(NO)	99	min.	1
F19	Temperatura del evaporador (S2/S3) para retorno del ventilador después del drenaje	-50	105	°C	20	-58	221	°F	68
F20	Tiempo máximo para retorno del ventilador después del drenaje (fan delay)	0(NO)	30	min.	1	0(NO)	30	min.	1
F21	Modo de operación del ventilador durante la refrigeración	0	7	-	4	0	7	-	4
F22	Parada del ventilador por temperatura alta en el evaporador	-50	105	°C	30	-58	221	°F	86
F23	Desplazamiento de indicación de la temperatura ambiente S1 (offset)	-20	20	°C	0	-36	36	°F	0
F24	Dirección del instrumento en la red RS-485	1	247	-	1	1	247	-	1

Menú de agenda de deshielos (exhibido si F01=2)

F25	Número de deshielos por día (Lunes a Viernes)	1	12	-	4	1	12	-	4
F26	Horario preferencial para iniciar deshielo (Lunes a Viernes)	00:00	23:50	-	06:00	00:00	23:50	-	06:00
F27	Número de deshielos por día (Sábado)	1	12	-	4	1	12	-	4
F28	Horario preferencial para iniciar el deshielo (Sábado)	00:00	23:50	-	06:00	00:00	23:50	-	06:00
F29	Número de deshielos por día (Domingo)	1	12	-	4	1	12	-	4
F30	Horario preferencial para iniciar deshielo (Domingo)	00:00	23:50	-	06:00	00:00	23:50	-	06:00

Figura C. 4 Valores a parametrizar

Fuente: Controlador Full Gauge TC-900E LOG

Menú de funciones avanzado (exhibido si F00=1)

Fun	Descripción	CELSIUS (°C)				FAHRENHEIT (°F)			
		Min	Máx	Unid	Estándar	Min	Máx	Unid	Estándar
F31	Setpoint normal	-50	105	°C	-15	-58	221	°F	5
F32	Setpoint económico (SPE)	-50	105	°C	-10	-58	221	°F	14
F33	Diferencial de control setpoint económico (histéresis)	0.1	20	°C	2	1	36	°F	3
F34	Tiempo de puerta cerrada para entrar en modo económico	0(NO)	999	min.	0(NO)	0(NO)	999	min.	0(NO)
F35	Diferencia de temperatura (S3-S1) debajo de la cual es activado el setpoint económico	0.1	20	°C	2	1	36	°F	3
F36	Diferencia de temperatura (S3-S1) arriba de la cual es activado el setpoint normal	0.1	20	°C	5	1	36	°F	9
F37	Tiempo máximo en el modo económico	0(NO)	100(OFF)	h	0(NO)	0(NO)	100(OFF)	h	0(NO)
F38	Límite de temperatura para Fast Freezing	-50	105	°C	-25	-58	221	°F	-13
F39	Tiempo máximo de Fast Freezing	0(NO)	999	min.	0(NO)	0(NO)	999	min.	0(NO)
F40	Tiempo de ventilador conectado	1	99	min.	2	1	99	min.	2
F41	Tiempo de ventilador desconectado	1	99	min.	8	1	99	min.	8
F42	Tiempo de compresor conectado en caso de falla en el S1	0	999	min.	0	0	999	min.	0
F43	Tiempo de compresor desconectado en caso de falla en el S1	0	999	min.	0	0	999	min.	0
F44	Tiempo de recolección del gas antes de iniciar el deshielo	0(NO)	999	min.	0(NO)	0(NO)	999	min.	0(NO)
F45	Condición para inicio del deshielo (0=tiempo / 1=temperatura)	0	1	-	0	0	1	-	0
F46	Tiempo máximo de puerta abierta para deshielo instantáneo	0(NO)	999	min.	0(NO)	0(NO)	999	min.	0(NO)
F47	Temperatura en el evaporador (S2/S3) para inicio del deshielo	-50	105	°C	-50	-58	221	°F	-58
F48	Tiempo de puerta abierta para desconectar el ventilador	-1(NO)	999	min.	-1(NO)	-1(NO)	999	min.	-1(NO)
F49	Tiempo de puerta abierta para desconectar las salidas de control	0(NO)	999	min.	0(NO)	0(NO)	999	min.	0(NO)
F50	Temperatura máxima en el condensador (S3) para desconectar las salidas de control	0(NO)	105	°C	55	32(NO)	221	°F	131
F51	Diferencial de control para temperatura máxima en el condensador (histéresis)	0.1	20	°C	5	1	36	°F	9
F52	Tiempo de compresor conectado sin alcanzar el setpoint para desconectar las salidas de control	0(NO)	999	min.	0(NO)	0(NO)	999	min.	0(NO)
F53	Tiempo de inhibición de alarma por temperatura ambiente	0(NO)	999	min.	0(NO)	0(NO)	999	min.	0(NO)
F54	Alarma de temperatura alta en el condensador (S3)	0	105	°C	45	32	221	°F	113
F55	Tiempo de puerta abierta para emitir alarma	0(NO)	999	min.	0(NO)	0(NO)	999	min.	0(NO)
F56	Habilitar buzzer	0(OFF)	1(ON)	-	0(OFF)	0(OFF)	1(ON)	-	0(OFF)
F57	Función de la entrada digital 1 / sensor S3	0(OFF)	17	-	0(OFF)	0(OFF)	17	-	0(OFF)
F58	Función de la entrada digital 2	0(OFF)	14	-	0(OFF)	0(OFF)	14	-	0(OFF)
F59	Desplazamiento de indicación de la temperatura del evaporador S2 (offset)	-20.1(OFF)	20	°C	0	-36(OFF)	36	°F	0
F60	Desplazamiento de indicación de temperatura del sensor S3 (offset)	-20	20	°C	0	-36	36	°F	0
F61	Intensidad del filtro digital aplicado al sensor 1 (0=desactivado)	0	9	-	0	0	9	-	0
F62	Bloqueo de funciones	0	2	-	0	0	2	-	0
F63	Tiempo para bloqueo de funciones	15	60	seg.	15	15	60	seg.	15
F64	Desconexión de las funciones de control	0(NO)	4	-	0(NO)	0(NO)	4	-	0(NO)
F65	Modo de operación de las alarmas de temperatura ambiente (S1)	0	1	-	1	0	1	-	1
F66	Tiempo máximo de operación de la salida COMP para mantenimiento	0(NO)	999	x10h	500	0(NO)	999	x10h	500

Figura C. 5 Valores a parametrizar

Fuente: Controlador Full Gauge TC-900E LOG