REPÚBLICA DEL ECUADOR
Escuela Politécnica Nacional
"E SCIENTIA HOMINIS SALUS"

La versión digital de esta tesis está protegida por la Ley de Derechos de Autor del Ecuador.

Los derechos de autor han sido entregados a la “ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL” bajo el libre consentimiento del (los) autor(es).

Al consultar esta tesis deberá acatar con las disposiciones de la Ley y las siguientes condiciones de uso:

- Cualquier uso que haga de estos documentos o imágenes deben ser sólo para efectos de investigación o estudio académico, y usted no puede ponerlos a disposición de otra persona.

- Usted deberá reconocer el derecho del autor a ser identificado y citado como el autor de esta tesis.

- No se podrá obtener ningún beneficio comercial y las obras derivadas tienen que estar bajo los mismos términos de licencia que el trabajo original.

El Libre Acceso a la información, promueve el reconocimiento de la originalidad de las ideas de los demás, respetando las normas de presentación y de citación de autores con el fin de no incurrir en actos ilegítimos de copiar y hacer pasar como propias las creaciones de terceras personas.

Respeto hacia sí mismo y hacia los demás.

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL CONTROL ELECTRÓNICO PARA UN HORNO GLP Y UNA CÁMARA DE LEUDO DESTINADOS A LA PRODUCCIÓN DE PAN, BASADO EN MICROCONTROLADORES

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y CONTROL

ALVARO VILCA WILLIAM ALEXANDER

wilialva.j@hotmail.com

DIRECTOR: ING. BUITRÓN BUITRÓN EFRAÍN OSWALDO

obuitron49@hotmail.com

Quito, Diciembre 2014

DECLARACIÓN

Yo, William Alexander Alvaro Vilca, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

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

William Alexander Alvaro Vilca

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por William Alexander Alvaro Vilca, bajo mi supervisión.

ING. OSWALDO BUITRÓN

DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

Para todas las personas, profesores, amigos y compañeros de aulas y de labores que han influido de forma positiva en mi formación no solo profesional, sino también, y más importante aún, en mi formación personal.

DEDICATORIA

Dedicado a mis padres por haberme dado la vida y haberme enseñado con su ejemplo, cómo conducirme en ella, a mis hermanas por haberme escuchado y ayudado siempre que las necesité, Vilma, Ruth y Andrea,

CONTENIDO:

RESUMEN. xii
PRESENTACIÓN. xiv
CAPÍTULO 1. 1
ASPECTOS GENERALES. 1
1.1. CALOR. 1
1.1.1 CONDUCCIÓN. 2
1.1.2 CONVECCIÓN. 2
1.1.3 RADIACIÓN. 3
1.2 HUMEDAD RELATIVA. 3
1.3 GENERALIDADES SOBRE LA PRODUCCIÓN DEL PAN. 4
1.3.1 INGREDIENTES PARA LA ELABORACIÓN DE PAN. 5
1.3.1.1 Harina. 5
1.3.1.1.1 Gluten: 5
1.3.1.1.2 Almidón: 5
1.3.1.2 Agua. 5
1.3.1.3 Sal. 6
1.3.1.4 Levadura. 6
1.3.1.5 Otros componentes. 6
1.3.1.6 Otros ingredientes. 7
1.3.2 ELABORACIÓN DEL PAN. 7
1.3.2.1 Formación. 7
1.3.2.2 Fermentación y reposo. 7
1.3.2.3 Horneado. 8
1.3.2.4 Enfriamiento. 8
1.3.3 CÁMARAS DE FERMENTACIÓN. 8
1.3.3.1 Cámara de fermentación tradicional. 8
1.3.3.2 Cámara para la fermentación global retardada. 9
1.3.3.3 Cámara para bloquear la fermentación. 9
1.3.3.4 Cámara de fermentación controlada. 9
1.3.3.4.1 Bloqueo: 12

1.3.3.4.2 Refrigeración: 12
1.3.3.4.3 Calentamiento: 13
1.3.3.4.4 Fermentación: 13
1.3.4 PROCESO DE HORNEO. 14
1.3.4.1 Principales reacciones en el horneado. 14
1.3.4.2 Influencia del vapor en el horneado. 15
1.3.5 PROCESO DE HORNEO Y LEUDADO REALIZADO LOCALMENTE. 16
CAPÍTULO 2. 18
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA ELECTRÓNICO PARA EL PROCESO DE HORNEO Y LEUDADO DEL PAN. 18
2.1 CÁMARA DE FERMENTACIÓN CONTROLADA. 18
2.1.1 SISTEMA DE REFRIGERACIÓN 19
2.1.1.1 Expansión. 20
2.1.1.2 Evaporación. 21
2.1.1.3 Compresión. 21
2.1.1.4 Condensación. 22
2.1.1.5 Función del compresor. 22
2.1.1.6 Selección del compresor. 23
2.1.1.7 Función del condensador. 26
2.1.1.8 Función del evaporador. 27
2.1.2 SISTEMA DE HUMIDIFICACIÓN. 28
2.1.2.1 Niquelina. 29
2.1.2.2 Relé de nivel. 29
2.1.2.3 Electroválvula. 30
2.1.2.4 Ventiladores. 31
2.1.3 SENSOR DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA DHT 11. 31
2.1.3.1 Especificaciones técnicas del sensor. 32
2.1.3.2 Conexionado: 33
2.1.3.3 Protocolo de comunicación serial (one wire, bidireccional). 33
2.1.4 SENSOR DE TEMPERATURA. 34
2.1.4.1 Cálculo de las constantes de la ecuación de Steinhart - Hart. 36
2.1.4.2 Interfaz Microcontrolador –Termistor. 38
2.1.5 EL RELOJ EN TIEMPO REAL DS1307. 40
2.1.5.1 Operación. 41
2.1.5.2 Descripción de pines. 41

2.1.5.2.1 Vcc, GND: 41
2.1.5.2.2 VBAT: 41
2.1.5.2.3 SCL (Serial Clock Input): 42
2.1.5.2.4 SDA (Serial Data Input/Output): 42
2.1.5.2.5 SQW/OUT (Square Wave/ Output Driver): 42
2.1.5.2.6 X1, X2: 42
2.1.6 EL MICROCONTROLADOR. 42
2.1.6.1 Características: 43
2.1.6.2 Selección del microcontrolador. 44
2.1.6.3 Dimensionamiento de entradas. 47
2.1.6.4 Dimensionamiento de salidas. 48
2.1.6.5 Dimensionamiento del transistor. 48
2.1.6.6 Dimensionamiento del diodo DM (freewheeling). 49
2.1.7 DIMENSIONAMIENTO DE RELÉS Y CONTACTORES. 51
2.1.8 DIAGRAMAS ELÉCTRICOS Y DE CONEXIÓN. 52
2.1.8.1 Diagramas eléctricos. 52
2.1.8.1.2 Diagramas de conexión. 55
2.1.8.4.1 Fuente de alimentación. 56
2.1.8.4.2 Sensores. 56
2.1.8.4.3 Teclado. 57
2.1.8.4.4 Salida a relés. 57
2.1.8.4.5 Display LCD. 58
2.2. SISTEMA PARA HORNEO DE PAN. 58
2.2.1 SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA Y ENCENDIDO DE LLAMA. 59
2.2.1.1 Encendedor de llama por superficie caliente. 59
2.2.1.2 Sensor de temperatura. 60
2.2.1.3 El circuito integrado MAX 31855. 62
2.2.1.4 Fototransistor. 64
2.2.1.5 Quemador. 67
2.2.1.6 Selección del microcontrolador. 68
2.2.2 DIAGRAMAS ELÉCTRICOS Y DE CONEXIÓN. 71
2.2.2.1 Diagramas eléctricos y de control. 71
2.2.2.2 Diagramas de conexión. 73
2.2.2.2.1 Fuente de alimentación. 74
2.2.2.2.1 Diagrama de conexiones para sensores. 74

2.2.2.2.2 Teclado. 75
2.2.2.2.3 Salida a relés. 75
2.2.2.2.4 Display LCD. 76
CAPÍTULO 3. 77
DISEÑO DEL ALGORITMO DE CONTROL MICROPROCESADO. 77
3.1 HERRAMIENTAS DE PROGRAMACIÓN Y SIMULACIÓN. 77
3.1.1 COMPILADOR CCS C. 77
3.1.2 ISIS DE PROTEUS VSM. 78
3.2 SISTEMA PARA LEUDADO DE PAN. 80
3.2.1. CONFIGURACIÓN DE PERIFÉRICOS. 80
3.2.2. CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS. 81
3.2.2.1 Configuración de reloj DS1307. 81
3.2.2.2 Descripción del proceso de envío y recepción de los datos en el DHT11. 84
3.2.2.3 Distribución de la memoria eeprom. 85
3.2.2.3 Configuración de parámetros del proceso. 88
3.2.2.3.1 Variable tiempo. 89
3.2.2.3.2 Variable humedad relativa. 89
3.2.2.3.3 Variable temperatura. 89
3.2.2.4 Diagrama de flujo general de programación. 89
3.2.2.5 Diagrama de flujo del proceso de refrigeración y conservación. 93
3.2.2.6 Diagrama de flujo de los procesos de pre fermentación, fermentación y retardo de horneo. 96
3.2.2.7 Configuración lectura del sensor de temperatura. 99
3.2.2.8 Alarmas. 100
3.2.2.8.1 Paro de emergencia: 100
3.2.2.8.2 Puerta abierta: 101
3.2.2.8.3 Sensor de humedad relativa: 101
3.3 SISTEMA PARA HORNEO DE PAN. 104
3.3.1. CONFIGURACIÓN DE PERIFÉRICOS. 104
3.3.1.1 Configuración de comunicación del MAX 31855. 104
3.3.1.2 Diagrama de flujo, proceso de configuración de parámetros. 106
3.3.1.3 Diagrama de flujo, proceso de configuración de parámetros. 107
3.3.1.4 Diagrama de flujo, activación electroválvula. 109
3.3.1.5 Alarmas. 110

3.4 DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE Y HARDWARE IMPLEMENTADO PARA LA REALIZACIÓN DE PRUEBAS. 111
3.4.1 LABVIEW. 111
3.4.1.1 Panel Frontal. 112
3.4.1.2 Diagrama de bloques. 113
3.4.2 PROGRAMA IMPLEMENTADO EN LABVIEW. 114
3.4.3 SOFTWARE EN PIC-C. 117
3.4.4 HARDWARE IMPLEMENTADO. 118
3.5 ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LOS PROTOTIPOS DESARROLADOS RESPECTO DE OTROS DISPOSITIVOS COMERCIALES SIMILARES. 119
CAPÍTULO 4. 121
PRUEBAS Y RESULTADOS. 121
4.1 PRUEBAS EN HORNO. 121
4.1.1 PRUEBAS DE PROGRAMACIÓN. 121
4.1.1.1 Configuración de fecha y hora. 122
4.1.1.2 Ingreso a menú y configuración de parámetros de operación. 123
4.1.1.3 Mensajes de alarma. 124
4.1.2 PRUEBAS DE OPERACIÓN. 126
4.2PRUEBAS EN CÁMARA DE LEUDO. 128
4.2.1 PRUEBAS DE PROGRAMACIÓN. 128
4.2.1.1 Ingreso a menú y configuración de parámetros de operación. 128
4.2.1.2 Mensajes de alarma. 131
4.2.2 PRUEBAS DE OPERACIÓN. 131
4.2.2.1 Temperatura cámara de leudo. 131
4.2.2.1.1Refrigeración. 131
4.2.2.1.2 Conservación. 132
4.2.2.1.3 Pre fermentación 1. 134
4.2.2.1.4 Pre fermentación 2. 134
4.2.2.1.5 Fermentación. 135
4.2.2.1.6 Retardo de horneo. 136
4.2.2.2 Humedad relativa cámara de leudo. 137
4.2.2.2.1 Pre fermentación 1. 137
4.2.2.2.2 Prefermentacion 2. 138
4.2.2.2.3 Fermentación. 139
4.2.2.2.4 Retardo Horneo. 140

CAPÍTULO 5...... 143
CONCLUSIONES: 143
RECOMENDACIONES: 145
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS: 147
ANEXOS..... 150
ESPECIFICACIONES DE LOS DISPOSITIVOS E INTEGRADOS. 150

RESUMEN

Dentro de los procesos de manufactura alimentaria los ciclos de calentamiento de un recinto, así como el de enfriamiento en una cámara, son de los más usados a nivel industrial, comercial y residencial con el propósito de conservar, preparar y cocer los alimentos que posteriormente serán puestos a consideración de los consumidores finales, los cuales esperan recibir un producto de alto valor nutricional, de buena calidad y sabor.

Es así que con el propósito de satisfacer estas necesidades presentes dentro de la industria alimentaria nacional, especialmente en el sector de la panificación, se recurre a la compra de dispositivos controladores, los cuales en muchos casos se adapta su funcionamiento a las necesidades puntuales de cada aplicación y resultan ser muy costosos así como también su mantenimiento, por esta razón se plantea la realización del control electrónico capaz de gobernar los proceso de fermentación de las masas, así como el de horneo, con la certeza de que los mismos cumplirán con las expectativas y necesidades del mercado nacional, pero a un menor costo.

Para la realización del presente proyecto se recurrió al estudio de los elementos involucrados dentro de los procesos de fermentación controlada y de horneo, empleados en modelos de uso comercial, y adaptándolas a las necesidades propias del proceso. Para comprobar el adecuado funcionamiento de los dispositivos señalados, fue preciso contar con unos módulos los cuales fueron construidos siguiendo las mismas consideraciones que se siguen para un modelo comercial.

El sistema de control diseñado dispone de una interfaz hombre-máquina desde la cual se puede visualizar todos los aspectos relacionados con el proceso, tales como la hora y fecha actual, ciclo de operación que es llevado a cabo, temperatura, humedad relativa, alarmas y otros, adicionalmente se puede modificar los parámetros de operación de cada uno de los ciclos que son parte de los procesos. Los procesos llevados a cabo en la cámara de fermentación y en el horno son configurables mediante el HMI y son almacenados, en forma de receta, en la

memoria eeprom del microcontrolador, con lo cual para el usuario, le será suficiente con escoger la receta que pretende poner en marcha y el dispositivo automáticamente llevará a cabo todo el proceso.

PRESENTACIÓN

En el presente proyecto se ha diseñado y construido dispositivos electrónicos que son capaces de llevar a cabo el proceso de fermentación controlada y el de horneo de las masas de pan, con los cuales se obtienen los mismos beneficios que se logran con equipos de tipo comercial pero a un menor costo. Además con el HMI dispuesto para la visualización de las variables del proceso, así como la programación de los parámetros para los ciclos de funcionamiento, el usuario no tendrá mayor dificultad en poner en marcha a estos equipos.

El proyecto en mención está dividido en 5 capítulos, que se pasan a describir a continuación:

El primer capítulo, describe los conceptos generales, relacionados con la transferencia de calor, así como de los procesos de fermentación y de horneo a las masas de pan, también aborda todo el proceso que implica la producción de pan, desde los ingredientes hasta tener el producto final para su consumo.

El segundo capítulo, hace referencia al hardware empleado en el proyecto, pasando por los microcontroladores y demás dispositivos, elementos y sensores empleados en la instrumentación de la cámara de fermentación y del horno, describiendo sus principales características y por ende la razón de su utilización dentro de los equipos en mención.

El tercer capítulo, aborda de manera pormenorizada el diseño del algoritmo de control desarrollado para la aplicación deseada, explica claramente mediante flujogramas todo el proceso que se lleva a cabo en el microcontrolador, el cual es el elemento principal dentro de los dispositivos señalados, también describe los programas empleados a fin de facilitar la labor de desarrollo y prueba de los equipos.

El cuarto capítulo describe las pruebas realizadas y resultados obtenidos de las mismas, dichas pruebas de funcionamiento se realizan en cada equipo de forma independiente donde cada uno de los dispositivos que forman parte de los equipos son puestos en operación y se observa su correcto funcionamiento.

En el quinto capítulo, se especifican las recomendaciones y conclusiones que se derivan del proceso de desarrollo del presente trabajo de investigación, poniendo mayor hincapié en las etapas de construcción y puesta en marcha.

CAPÍTULO 1.
ASPECTOS GENERALES.

En este capítulo se abordan los conceptos generales sobre los cuales se enmarca el presente proyecto, conceptos relacionados con la transferencia de calor ya que los procesos mencionados se relacionan con este concepto de ahí que es importante su conocimiento, también se tratan conceptos relacionados con el leudado y horneo del pan. Se realiza una descripción de todo el proceso que implica la producción del pan, desde los ingredientes hasta la obtención del producto final listo para su consumo.

1.1. CALOR.

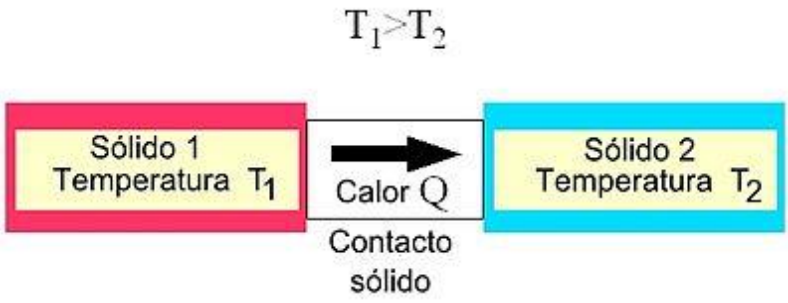


Figura 1.1. Transferencia de calor. Tomado de [1].

De acuerdo a la figura 1.1, el calor es el proceso a través del cual se produce un intercambio de energía entre diferentes cuerpos o diferentes zonas de un mismo cuerpo que están a temperaturas diferentes [1].

Esta transferencia ocurre desde el cuerpo de mayor temperatura hasta el cuerpo con una menor temperatura, esta transferencia ocurre hasta que ambos cuerpos tengan la misma temperatura es decir se encuentren en equilibrio térmico [1].

La energía puede ser transferida por diferentes mecanismos, entre los que cabe señalar la radiación, la conducción y la convección, sin embargo dentro de un proceso real todos se encuentran presentes en mayor o menor grado [1].

La energía que puede intercambiar un cuerpo con su entorno depende del tipo de transformación que se efectúe sobre ese cuerpo y por tanto depende del camino, los cuerpos no tienen calor, sino energía interna [1].

Existen varias formas de energía, por lo cual la descripción se dará en función del calor, que es el proceso a través del cual la energía se puede transferir de un sistema a otro como resultado de la diferencia de temperatura, hasta alcanzar el equilibrio térmico [1].

1.1.1 CONDUCCIÓN.

Es la transmisión de energía calórica, de un cuerpo a una determinada temperatura el cual tiene contacto con otro cuerpo a una temperatura inferior, o cuando se aplica calor en un punto del objeto y se transmite a todos los lugares que se encuentran a menor temperatura, equilibrando de esta manera la temperatura en todo el objeto. La transmisión del calor para llegar a equilibrarse en un objeto depende de la temperatura relativa entre dos puntos u objetos, del calor que el material puede conducir en una unidad de tiempo y de la superficie de contacto [2].

1.1.2 CONVECCIÓN.

Es la transferencia de calor a través de un fluido con movimiento masivo del mismo, este movimiento transporta el calor entre zonas con diferente temperatura. La transferencia de calor implica el transporte de calor en un volumen y la mezcla de elementos macroscópicos de porciones calientes y frías de un gas o un líquido. Se incluye también el intercambio de energía entre una superficie sólida y un fluido o por medio de una bomba, un ventilador u otro dispositivo mecánico [2].

La convección puede ser natural o forzada, en la convección forzada se obliga al fluido a fluir mediante medios externos, como un ventilador o una bomba. En la convección natural el movimiento del fluido es debido a causas naturales, como el efecto de flotación, que se produce cuando el fluido caliente asciende y el fluido frio desciende, debido a la diferencia de densidades [2].

La convección forzada se clasifica a su vez en externa e interna dependiendo del flujo del fluido. El flujo de un fluido se clasifica como interno o externo dependiendo de si se fuerza al fluido a fluir por un canal confinado (superficie interior) o por una superficie abierta. El flujo de un fluido no limitado por una superficie (placa, alambre, exterior de un tubo) es flujo externo. El flujo por un tubo o ducto es flujo interno, sí ese fluido está limitado por completo por superficies sólidas [2].

1.1.3 RADIACIÓN.

Es la transmisión del calor a través de ondas electromagnéticas y no requiere contacto, ni fluido intermediario. La cantidad y calidad de la transferencia del calor depende de la diferencia de temperatura entre dos objetos, del área de las superficies transmisoras o receptoras y de su calidad como color, estructura, tejido, además de la distancia entre los objetos. La transferencia usualmente no es visible ya que la mayor parte de las ondas electromagnéticas se encuentran en el espectro del infrarrojo [2].

1.2 HUMEDAD RELATIVA.

La humedad relativa se define como la medida del contenido de agua en forma de vapor. La cantidad máxima depende de la temperatura, así, por ejemplo a 4.4 °C, 1000 kg., de aire húmedo contienen un máximo de 5 kg., de vapor; a 37.8 °C, 1000 kg., de aire contienen 18 kg., de vapor [3].

El peso del vapor de agua contenido en un volumen de aire se conoce como humedad absoluta y se expresa en unidades de masa de agua por unidades de masa o de volumen de aire seco. Frecuentemente se utiliza la medida de gramos de vapor de agua por metro cúbico de aire. La humedad relativa, es la razón entre el contenido efectivo de vapor en la atmósfera y la cantidad de vapor que saturaría el aire a la misma temperatura. Si la temperatura atmosférica aumenta y no se producen cambios en el contenido de vapor, la humedad absoluta no varía mientras que la relativa disminuye. Una caída de la temperatura incrementa la humedad relativa produciendo rocío por condensación del vapor de agua sobre las superficies

sólidas. La temperatura a la cual se empieza a formar el rocío en el aire que contiene una cantidad conocida de vapor de agua se llama punto de rocío [3].

1.3 GENERALIDADES SOBRE LA PRODUCCIÓN DEL PAN.

La palabra pan, proviene del latín “panis” y significa masa horneada, y es considerado un alimento primordial para el hombre ya que forma parte de su dieta diaria, como una referencia se presenta el producto en la figura 1.2 [4].

Su preparación se realiza mediante el horneado de una masa preparada básicamente de harina de cereales, agua y sal, esta mezcla en la mayoría de ocasiones suele contener levadura con el propósito de que la masa se fermente y su consistencia sea más tierna y esponjosa [4].

Figura 1.2. Diferentes clases de pan. Tomado de [4].

La evolución histórica del pan se da en tres vías posibles: la evolución en los dispositivos mecánicos que muelen los granos, por otro, la mejora en los microorganismos que forman la levadura y también, la evolución de los hornos y los elementos que proporcionan fuentes de calor [4].

1.3.1 INGREDIENTES PARA LA ELABORACIÓN DE PAN.

1.3.1.1 Harina.

La harina es el principal ingrediente para la elaboración del pan, y no es más que el producto obtenido de la molienda del endospermo de un cereal hasta llegar a una textura en forma de polvo. Si se trata de otros granos de cereales o de leguminosas hay que indicarlo, así por ejemplo; harina de maíz, harina de cebada, etc. Si en la harina aparece no solo el endospermo, sino todos los componentes del grano se llama harina integral [4].

Para comprender el proceso de panificación conviene entender a la harina como un conjunto de dos substancias [4]:

1.3.1.1.1 Gluten:

Corresponde al conjunto de proteínas gliadinas y gluteninas, recibe el nombre de gluten debido a su capacidad de aglutinarse cuando se las mezcla con agua dando lugar a una red o malla de proteínas insolubles. Es el responsable de proporcionar a la masa un aspecto elástico así como también atrapar el dióxido de carbono liberado durante la fermentación y provocar el 'hinchamiento' de la masa [4].

1.3.1.1.2 Almidón:

Los almidones cumplen la misión de repartir la humedad de forma homogénea durante el amasado y de proporcionar una estructura semisólida a la masa [4].

1.3.1.2 Agua.

Es el segundo componente mayoritario de la masa y es el que hace posible el amasado de la harina. El agua hidrata la harina facilitando la formación del gluten, con ello y con el trabajo mecánico del amasado se le confieren a la masa sus características plásticas: la cohesión, la elasticidad, la plasticidad y la tenacidad [4].

La presencia de agua en la masa también es necesaria para el desarrollo de las levaduras que han de llevar a cabo la fermentación de la harina [4].

Algunas investigaciones muestran que el proceso de hidratación de la masa tras su mezcla con el agua puede llevar entre 10-20 minutos, tiempo que es necesario para reposar la masa y dejar que se 'impregne' por completo [4].

1.3.1.3 Sal.

Su objetivo principal es dar sabor al pan. Además es importante porque hace la masa más tenaz, actúa como regulador de la fermentación, favorece la coloración de la corteza durante la cocción y aumenta la capacidad de retención del agua en el pan. La sal tiene además un ligero efecto fungicida, su presencia en el pan permite alargar su vida comestible [4].

1.3.1.4 Levadura.

La levadura es un conjunto de microorganismos unicelulares que se aporta a la masa con el propósito de hacerla fermentar de modo que produzca etanol y dióxido de carbono ($CO_{2.}$). El CO_2 queda atrapado en la masa, la cual se esponja y aumenta de volumen, a este fenómeno se lo denomina levantamiento de la masa. El etanol se evapora durante el proceso de horneado debido a las grandes temperaturas alcanzadas [4].

1.3.1.5 Otros componentes.

Pueden ser simples aditivos o coadyuvantes tecnológicos que se emplean en baja proporción y cuyo único objetivo es favorecer el proceso tecnológico de elaboración del pan. En este caso se le denomina mejorantes y su empleo no significa que el pan sea especial [4].

1.3.1.6 Otros ingredientes.

Sus objetivos son bien aumentar el valor nutritivo del pan o bien proporcionarle un determinado sabor. Su empleo siempre da panes especiales. Entre los más comunes tenemos: azúcares, leche, materias grasas, huevos frutas, etc. [4].

1.3.2 ELABORACIÓN DEL PAN.

Para la elaboración se debe seguir varios procesos que se ejecutan de forma secuencial. Iniciando con los ingredientes en sus proporciones justas y las herramientas para su elaboración dispuestas para realizar las operaciones y acaba con el pan listo para ser servido. Dependiendo de los panaderos se añaden más o menos procesos a la elaboración, pero básicamente existen cuatro.

1.3.2.1 Formación.

Este proceso se compone de dos subprocesos: la mezcla y el amasado. La masa se forma justo cuando se produce la mezcla de la harina con el agua, este medio acuoso permite que se generen reacciones químicas que transforman la mezcla en una masa casi 'fibrosa'. Posteriormente se realiza el proceso de amasado, en donde previamente se ha agregado la levadura, y cuyo objetivo es lograr una mezcla lo más homogénea posible, de los distintos ingredientes y conseguir las características plásticas de la masa así como su perfecta oxigenación [4].

1.3.2.2 Fermentación y reposo.

Empieza a ocurrir tras el amasado y se suele dejar la masa en reposo a una temperatura adecuada. Durante esta espera la masa suele adquirir mayor tamaño debido a que la levadura libera dióxido de carbono durante su etapa de metabolismo. La masa se va inflando a medida que avanza el tiempo de reposo [4].

1.3.2.3 Horneado.

Su objetivo es la transformación de la masa fermentada en pan. Lo que conlleva la evaporación de todo el etanol producido en la fermentación, evaporación de parte del agua contenida en el pan, coagulación de las proteínas, transformación del almidón en dextrinas y azúcares menores y obscurecimiento de la corteza. Este proceso se lo realiza en hornos a elevadas temperaturas [4].

1.3.2.4 Enfriamiento.

Luego de que el pan ha sido cocido se da el proceso de enfriamiento del pan debido a que se extrae de la fuente primaria de calor y poco a poco va enfriándose, debe notarse que en este proceso la capa de la corteza suele tener muy poca humedad y muy alta temperatura [4].

1.3.3 CÁMARAS DE FERMENTACIÓN.

Las cámaras de fermentación según su aplicación, se puede clasificar de la siguiente manera.

Tabla 1.1. Tipos de fermentación. Tomado de [6].

TIPO DE FERMENTACION	CONDICIONES DE PROCESO
Tradicional	Calor y humedad
Global retardada	Calor, humedad y frío
Bloqueo de fermentación	Frío
Controlada	Calor, humedad y frío

1.3.3.1 Cámara de fermentación tradicional.

Para este proceso se emplea calor y humedad, la temperatura que se aplica está entre 28-32º C, y la humedad de entre 70% y 85%.En el proceso de fermentación la temperatura y el tiempo van a tener consecuencias positivas o negativas, dependiendo de las condiciones en que se lleve a cabo este proceso [5].

Cuando la temperatura sobrepasa los 33º C la producción de ácido láctico y butírico es proporcional a medida que aumenta la temperatura así como las reacciones enzimáticas que se producen en la masa, todo ello provoca que a partir de esta temperatura la masa se desarrolle más débil y el impulso del pan en el horno sea exagerado, obteniéndose panes de baja calidad. Sin embargo, si la fermentación se lleva a cabo a más baja temperatura, la formación de ácido láctico y butírico es menor, esto conlleva que el pan fermente más lentamente pero a su vez con más cuerpo, las enzimas al ser menos activas no producen tanto volumen y el sabor del pan se podría decir que es más sabroso [5].

1.3.3.2 Cámara para la fermentación global retardada.

Con este procedimiento pueden elaborarse el día antes aquellas masas con fermentación global. Así, una vez finalizada la jornada de trabajo se elabora la masa para el día siguiente, se pone en recipientes y se introduce en la cámara, de tal forma que al día siguiente la masa haya aumentado su volumen dos veces y media con respecto al inicial [5].

1.3.3.3 Cámara para bloquear la fermentación.

Es posible la utilización de una cámara equipada únicamente con equipo de frío y un programador, lo que permite el bloqueo y el mantenimiento de la masa en refrigeración [5].

1.3.3.4 Cámara de fermentación controlada.

La levadura de panadería, tiene una baja actividad por debajo de los 4º C, su máxima plenitud se da cuando alcanza 38º C, temperatura nada aconsejable, pues si bien es cuando más rápidamente desprende CO2, es también la temperatura óptima para las fermentaciones lácticas y butíricas, con los problemas antes señalados [5].

A 55º C la levadura muere, es importante conocer este detalle ya que en varias ocasiones, cuando a la masa se le incorpora agua caliente para controlar su

temperatura, si el agua entra en contacto con la masa no se producirá acción fermentativa por muerte de la célula [5].

La masa no fermenta entre 0º C y 2º C debido a que se paraliza la fermentación, no ocurre así con la actividad enzimática, ya que aunque muy lentamente, ésta sigue actuando, por lo tanto el tiempo de permanencia de la masa en el régimen de frío está limitada a períodos máximos de 48 horas y en los casos de las harinas demasiado enzimáticas es aún más limitado [5].

Es importante resaltar dos aspectos importantes respecto de la fermentación controlada, la primera es que la aplicación de este procedimiento no implica un mejoramiento en la calidad del producto final, y se deben realizar ciertas adecuaciones a las masas para someterla a este proceso las cuales se detallan a continuación [6]:

- Se requiere ajustar la dosis de levadura en la receta, la relación es que si se disminuye la dosis de levadura se compensa aumentando el tiempo de fermentación o un aumento de la temperatura de la masa o ambas estrategias [6].
- Se deben emplear masas que no requieran periodos de fermentación sino solo tiempos de reposo, esto ya que a mayor cantidad de gas presente en las masas, al entrar en la cámara de fermentación puede tener un efecto adverso en el producto [6].
- Finalizado el amasado la temperatura no debe superar los 22 º C a fin de evitar la fermentación de la masa [6].
- Proveer de un tiempo de reposo de entre 10 a 15 minutos [6].
- Las masas una vez procesadas se deben pasar lo más pronto posible a la cámara de fermentación evitando la formación excesiva de gas, como norma se deben evitar retrasos que excedan los 20 minutos [6].
- Es recomendable añadir la levadura poco antes de finalizar el amasado para evitar el inicio de la fermentación antes del bloqueo de la masa [6].
- Debido a que la cámara se encuentra en pleno proceso de refrigeración, se debe evitar abrir frecuentemente la puerta de la cámara ya que disminuiría

la temperatura en el interior, reduciendo la efectividad en cuanto al enfriamiento de las masas [6].

Con respecto al mejorante se puede recomendar:

- Debe ser especial para congelación.
- Pueden ser sobre dosificados en vitamina C, con enzimas baja actividad [6].

Con respecto a la levadura se puede decir que existe una gran cantidad de posibles combinaciones, ya que dependerá de factores tales como: el tamaño del pan, temperatura de fermentación controlada, tiempo de almacenamiento, tiempo de fermentación normal, tiempo de reposo, calidad del producto, etc. de ahí que se dan algunas normas generales sobre las cuales se puede decidir, las cuales se señalan a continuación [6]:

- La levadura no debe superar el 2,5% de la harina con el propósito de evitar fermentación antes del proceso de bloqueo de la masa [6].
- Incrementar la temperatura de la masa 2ºC, requiere disminuir la levadura, esta alteración reducirá la velocidad de expansión de la masa en la fermentación controlada[6].
- Se debe reducir la dosis de levadura al aumentar el tiempo y la temperatura de almacenamiento [6].
- Se reduce la dosis de levadura a medida que aumente el volumen de la masa
- Cuanto menor sea la levadura empleada, más largo será el tiempo de fermentación normal para un determinado volumen de masa. Además una baja dosis de levadura contribuye a disminuir el gradiente de temperatura [6].

El objetivo de las adecuaciones mencionadas permitirá obtener una masa fuerte, ya que al someter la masa al frío, esta va perdiendo fuerza a medida que va pasando el tiempo, y evitar que la masa se fermente antes de que ingrese a la cámara de fermentación [6].

La programación de la cámara dependerá sobre todo del tamaño y volumen de las piezas, pero en cualquier caso tiene cuatro fases: bloqueo, refrigeración,

calentamiento y fermentación. El proceso de fermentación controlada puede durar aproximadamente entre 12 y 72 horas, este tiempo dependerá de las necesidades del usuario [6].

1.3.3.4.1 Bloqueo:

En esta fase de enfriamiento rápido se trata de que la masa pare cuanto antes la fermentación, ya que la levadura en la masa tiene una bajísima actividad por debajo de 4 º C y casi no hay actividad los 0 º C, para lograr un rápido enfriamiento la cámara debe estar a una temperatura de entre 0 y -7 º C, antes de introducir las piezas, esta temperatura queda determinada por la levadura en la receta y el tamaño de la pieza, la idea es que la temperatura en el centro de la pieza sea de 2 º C [6].

Para el caso de masas de gran tamaño no es aconsejable que la temperatura sea menor a -5 º C ya que la mala conductividad térmica de la masa hará que el centro de masa siga produciendo gas aun cuando la superficie este congelada [6].

En cuanto al tiempo de bloqueo hay que tener en cuenta que si sólo va a estar sometida al frío durante ocho o diez horas, el tiempo de bloqueo será suficiente con dos horas pero, si por el contrario, está sometida al frío durante 48 horas, el tiempo de bloqueo puede llegar a ser de 24horas a –2º C. Este último caso es muy práctico en aquellos panaderos que no trabajan el domingo y es el sábado cuando elaboran la masa para el lunes. Realizando este procedimiento, parte de la jornada del sábado y del domingo se mantiene la masa con el frío suficiente sin que se congele, pero con la actividad enzimática prácticamente paralizada. El domingo, a media mañana, la cámara se pondrá ya en régimen normal de refrigeración como cualquier otro día [6].

1.3.3.4.2 Refrigeración:

En esta etapa la masa está sometida a una temperatura entre 0º C y 2º C, y dentro de los detalles que hay que tener en cuenta figuran la de evitar las aperturas frecuentes de la puerta de la cámara, que las salidas y retornos del aire estén bien

canalizadas y que los ventiladores que impulsan el aire funcionen el tiempo justo para mantener estas condiciones. Cuando esto no se cumple, la masa se a corteza y fermenta más en unas zonas que en otras [6].

La humedad relativa de la masa al entrar en la cámara de fermentación es mayor en aproximadamente un 35%, a la humedad al interior de la cámara, por esta razón la superficie de la masa pierde humedad al intentar equilibrarse con la humedad de la cámara. El tiempo que dure esta etapa será de aproximadamente entre 12 y 36 horas [6].

1.3.3.4.3 Calentamiento:

Es una etapa importante del proceso, consta de la elevación gradual de la temperatura interna de la cámara, se debe tener especial cuidado, ya que se puede producir la condensación de vapor sobre la masa, elevando la actividad enzimática y se tiene un color rojizo en la corteza del pan [6].

La clave de esta etapa es la elevación progresiva de la temperatura, este proceso debe ser controlado automáticamente, evitando así una gran diferencia de temperatura en el interior de la misma [6]

Algunos de los problemas son los derivados de una mala programación. Para el ajuste del programa hay que tener en cuenta el tamaño de las piezas [6].

1.3.3.4.4 Fermentación:

Se debe analizar cuál es la temperatura ideal para el proceso de fermentación, la cual puede estar entre los 18 º C y 28 º C. se puede establecer que la temperatura ideal es 22 º C, considerando que la masa es mala conductora del calor y que por lo tanto toma tiempo en que el interior de la masa se encentre a la misma temperatura de la corteza, pero si se utiliza una temperatura de 28 º C, sobre la masa se condensará una mayor cantidad de agua elevando la actividad de las enzimas, produciendo ácido láctico y butírico, provocando que la masa se debilite y el producto final tenga un sabor insípido, de lo mencionado se puede establecer que mientras mayor sea la temperatura que se programe al interior de la cámara,

mayor será la diferencia de temperatura ente el interior y la corteza de la masa obteniendo resultados indeseados [6].

Con respecto a la humedad relativa de la cámara, se debe considerar que si la temperatura no alcanza más de los 26 º C, no será necesario aumentar la humedad más del 90%, puesto que la misma humedad producida por la masa creará unas condiciones higrométricas ideales. El tiempo destinado para este proceso durará entre dos y dos hora y media, después de este proceso se procederá al horneo del pan [6].

1.3.4 PROCESO DE HORNEO.

El objetivo básico del horneado es la conversión de la masa fermentada en pan como alimento primario digerible por el ser humano, mediante la cocción en condiciones adecuadas de temperatura, humedad y tiempo [7].

1.3.4.1 Principales reacciones en el horneado.

Las reacciones producidas en el horneado son críticas para conseguir las cualidades organolépticas de un buen pan [7].

1.3.4.1.1. Gelatinización de los almidones:

Cuando la temperatura supera los 55°C la levadura muere, los almidones complejos formados por miles de moléculas unidas entre sí atrapan el agua que les rodea y se desintegran en moléculas individuales, formando una masa sólida, aunque plástica, y translúcida. A los 71ºC, la masa pierde buena parte de su capacidad de atrapar el dióxido de carbono, por lo que los alveolos se van agrandando a medida que la humedad contenida en ello es extraída hacia el exterior. El interior de la masa difícilmente superará los 100ºC, ya que la humedad que va evaporándose absorbe calor e impide que la masa se sobrecaliente por encima de la temperatura de ebullición del agua. Esta gelificación de los almidones permite además la aparición de sabores hasta ese momento enmascarados por la insipidez del almidón.

También se forma el alveolado de la miga por la expansión de las burbujas de dióxido de carbono, que cesa a los 95ºC, alcanzando el pan su máximo volumen [7].

1.3.4.1.2. Caramelización de los azúcares:

A temperaturas inferiores a 100 º C, los azúcares se combinan con los aminoácidos procedentes de la descomposición de las proteínas, empezando a producir el color de la corteza y la parte más significativa de los aromas y sabores. A medida que se va liberando humedad con el aumento de la temperatura y a partir de los 130 º C, los azúcares procedentes de la actividad enzimática empiezan a caramelizarse. La corteza puede alcanzar los 150 º C y 5% de humedad, por lo que dichos azúcares se endurecen y oscurecen. La coloración dependerá de la naturaleza de la masa ya que los azúcares se combinan con las proteínas de la misma, siendo la temperatura de caramelización y el tono de color particular de cada tipo de proteína. Por tanto, obtendremos coloraciones diferentes con un pan elaborado con pre fermento o sin él. El contenido de sal también influye de forma directamente proporcional en la intensidad del tono [7].

1.3.4.1.3. Coagulación y tostado de las proteínas:

A partir de los 60-63 º C, las cadenas de proteínas sufren una transformación en su estructura en un proceso llamado coagulación. La temperatura en aumento va eliminando el agua no atrapada por los almidones; esta reducción incrementa la temperatura de la malla proteica (tostado), permitiendo la aparición de sabores a frutos secos [7].

1.3.4.2 Influencia del vapor en el horneado.

Para la gran mayoría de los tipos de panes, la presencia de vapor en el horno durante el proceso, es fundamental para que se complete el desarrollo del volumen, además la humedad permite intensificar los procesos de gelatinización y de caramelizarían en la corteza, mejorando su color y sabor [7].

Después de que los panes se han cargado en el horno, el vapor caliente entra en contacto con la superficie más fría de la masa y, debido a la condensación, la cubre

una fina capa de agua. Esto ayuda a que la superficie sea más extensible y permita una mayor expansión bajo la presión del gas al inicio del horneado. La capa de humedad sobre la superficie retrasa la formación de la corteza, haciéndola más fina y crujiente. Otro aspecto positivo es que se logra una ligera dilución del almidón presente en la superficie, lo que provoca un efecto de brillo después del horneo [7].

Para aprovechar los beneficios de la condensación, el vapor debe ser inyectado dentro de la cámara de horneado durante el proceso de horneo. La razón es que, la temperatura de la superficie de los panes aumenta, formando una capa caliente alrededor y, si el vapor no se inyecta, la condensación sería necesariamente menor por un aumento en la diferencia de las temperaturas, lo que reduce los beneficios mencionados anteriormente [7].

La cantidad de vapor debe ser suficiente para formar una capa delgada de agua en la superficie de la masa. El panadero debe guiarse por la apariencia de los panes en su superficie, que debe estar levemente cubierta por una capa de humedad y debe estar ligeramente brillante [7].

Si se observan gotas de agua que corren sobre la superficie de los panes, es un indicio de que se ha inyectado demasiado vapor. Esto perjudica la calidad del producto final, en especial a la corteza, que no sería suficientemente crujiente, a los cortes, pues no se abrirían lo suficiente, y a la superficie, que tendría un acabado demasiado brillante, de apariencia casi artificial [7].

1.3.5 PROCESO DE HORNEO Y LEUDADO REALIZADO LOCALMENTE.

Los procesos de fermentación así como de leudado del pan tienen lugar dentro de los grandes productores, los que facilitan en gran medida el proceso de producción de pan, haciendo que sus costos de manufactura sea bajo y por ende más atractivo para el cliente final, sin embargo dentro de los medianos y pequeños productores, estos procesos son llevados a cabo de forma artesanal, es decir con un pobre proceso de automatización de los equipos existentes, esto ocurre debido a que los costos de disponer de equipos totalmente automatizados son relativamente altos, por esta razón se plantea la necesidad de proveer de un dispositivo de un costo

menor. Al disponer de un control electrónico de fabricación local, que gobierne estos procesos, con lo cual se logra que los costos de fabricación de esta clase de equipos se reduzcan, además se tiene la posibilidad de adaptarlas tanto el software así como el hardware del equipo. Con esto se busca favorecer que los medianos y pequeños productores puedan mejorar sus procesos de manufactura y el abaratamiento de costos ya que la automatización de los equipos reducirá tiempos de producción [2].

CAPÍTULO 2.
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA ELECTRÓNICO PARA EL PROCESO DE HORNEO Y LEUDADO DEL PAN.

En este capítulo se tratará sobre los dispositivos y elementos que conforman los sistemas de horneo y leudado del pan, exponiendo de forma clara y sencilla el dimensionamiento y selección de cada uno de ellos, pasando por los microcontroladores y demás elementos constitutivos del mismo, se justifica su utilización, además se describe sus principales características, así como los periféricos empleados en los mismos, también se consideran las ventajas que supone el uso de los sensores seleccionados.

2.1 CÁMARA DE FERMENTACIÓN CONTROLADA.

La fermentación controlada es un método de fabricación adaptado a las masas de pan, que permite regular el proceso fermentativo del producto, mediante la variación de la temperatura y la humedad. Obteniéndose como resultado que se elimine la mayor parte del trabajo nocturno de los panaderos. Este método requiere una refrigeración y calentamiento de manera programada de las masas de pan, reduciendo la actividad de las levaduras y la gasificación de las masas de pan a bajas temperaturas.

En la figura 2.1 se puede apreciar la instrumentación que forma parte de la cámara de fermentación controlada.

De acuerdo al proceso que se lleva a cabo en este equipo y con el propósito de realizar una revisión de los elementos constitutivos del mismo es necesario dividirlo en dos subprocesos, esto son refrigeración y humificación.

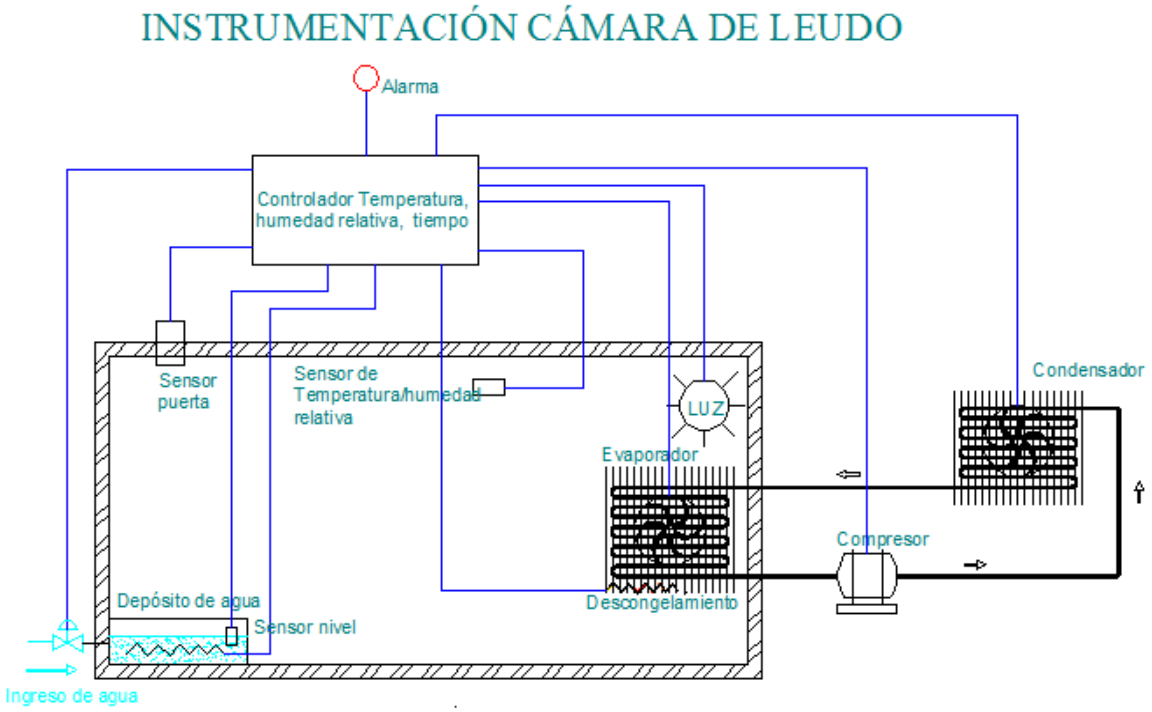


Figura 2.1. Instrumentación en una cámara de leudo.

2.1.1 SISTEMA DE REFRIGERACIÓN.

La cámara de leudo dispone de un equipo de refrigeración de tipo comercial con todos los dispositivos necesarios para su correcta operación, de acuerdo a los parámetros requeridos en el proceso, la temperatura de operación más baja es de -7 °C, a la cual el equipo es capaz de llegar.

A continuación se describen las etapas constitutivas del sistema de refrigeración en la cámara de leudo:

El método de refrigeración empleado es el de comprensión que consiste en forzar mecánicamente la circulación de un fluido en un circuito cerrado, creando con esto zonas de alta y baja presión con el propósito de que el fluido absorba calor en un lugar y lo disipe en otro.

El refrigerante circula por el sistema y pasa por diversos cambios de estado, cada uno de estos cambios se denomina proceso; dentro de este ciclo de refrigeración se considera los siguientes:

Expansión,
Evaporación,
Compresión,
Condensación.

En la figura 2.2 se aprecia el circuito de refrigeración del equipo comercial.

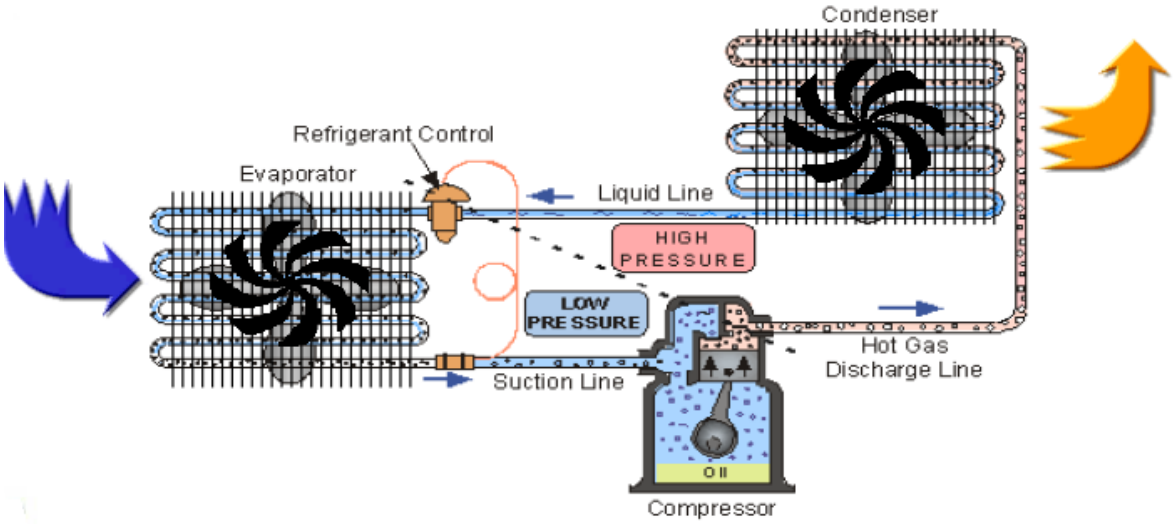


Figura 2.2. Elementos de un equipo de refrigeración comercial. Tomado de [8].

2.1.1.1 Expansión.

El refrigerante líquido a alta presión, que procede del depósito de la unidad condensadora pasa a través del proceso de expansión el cual es gobernado por la válvula del mismo nombre, para convertirse en líquido a baja presión. Dicha válvula tiene dos funciones distintas:

- Regular la velocidad de admisión de líquido en el serpentín de enfriamiento y consecuentemente controlar la proporción de área superficial interior que se encuentra en contacto con el refrigerante líquido.

- Mantener constante la carga del compresor al mantener invariable la presión de succión. El aumento en la carga del sistema de refrigeración origina un incremento en la presión de succión pues el vapor se forma con mayor rapidez, si se mantiene constante esta presión la capacidad refrigerante del compresor es inalterable en todo momento.

2.1.1.2 Evaporación.

Cuando se añade calor a una sustancia en este caso al refrigerante, su temperatura aumenta hasta el momento que comienza la ebullición, entonces, el aumento de temperatura se detiene, invirtiendo todo el calor que se le siga suministrando en realizar el cambio de fase, pasando paulatinamente de líquido a gas [10].

En el evaporador, el líquido refrigerante se evapora a una temperatura y presión constantes, mientras el calor necesario para el suministro de calor latente de evaporación pasa de las paredes del evaporador hacia el refrigerante que se evapora [10].

Aunque el vapor absorbe el calor del aire que rodea la línea de aspiración, que aumenta su temperatura y disminuye ligeramente su presión debido a la perdida por fricción en la línea de aspiración, estos cambios no son importantes, debido a que los mismos son pequeños [10].

2.1.1.3 Compresión.

Debido a la acción del compresor, el vapor que resulta de la evaporación se lleva por la línea de succión desde el evaporador hacia la entrada de aspiración del compresor, en el cual la temperatura y presión del vapor aumentan debido a la acción de compresión. El vapor a alta temperatura y alta presión se descarga del compresor a la línea de descarga [10].

Los compresores comúnmente empleados en los sistema de refrigeración son los de pistón, los rotatorios y los centrífugos, los dos primeros son de desplazamiento positivo por lo que la compresión del vapor se realiza mediante un miembro

compresor tal como el pistón, para los primeros o a través de un pistón rodante una aleta rotatoria o un lóbulo helicoidal para los segundos. En el compresor centrífugo la compresión se produce por la acción de la fuerza centrífuga que es desarrollada a medida que el vapor es girado por un impulsor de alta velocidad [6].

2.1.1.4 Condensación.

El vapor circula por la línea de descarga hacia el condensador donde se intercambia calor con el aire frio que el ventilador del condensador lo hace circular a través del condensador. Una vez que el vapor caliente evacua calor hacia el aire más frío, su temperatura se reduce a la nueva temperatura de saturación que corresponde a la nueva presión, y el vapor se condensa, retornado así a su estado líquido [10].

El calor total disipado en el condensador incluye tanto el calor absorbido en el evaporador como la energía equivalente al trabajo de compresión. Cualquier calor absorbido por el vapor de succión desde el aire de los alrededores también forma parte de la carga térmica del condensador, por lo que la cantidad de calor rechazado en el condensador varía con las condiciones de operación del sistema.

Los condensadores se agrupan de manera general, en enfriados por aire, enfriados por agua y vapor. La capacidad del condensador está determinada por los factores que rigen la transferencia de calor.

2.1.1.5 Función del compresor.

El compresor, figura 2.3, en un circuito de refrigeración provee de energía motriz al refrigerante y debe mantener una diferencia de presiones entre sus terminales, por un lado debe mantener una presión suficientemente baja en el evaporador, para que el refrigerante se vaporice a la temperatura deseada, y por otro lado en el condensador debe mantener una presión suficientemente alta, para que el refrigerante se condense a la temperatura del medio de enfriamiento. Con este propósito deberá aspirar los vapores a baja presión procedentes del evaporador, a la misma velocidad que se va produciendo, y comprimirlos para aumentar su presión y temperatura, enviándolos al compresor.

Figura 2.3. Vista del compresor. Tomado de [9].

2.1.1.6 Selección del compresor.

La selección de un compresor para un determinado equipo de refrigeración depende de los siguientes factores:

- Elemento de Control: todo el sistema de refrigeración necesita de un elemento de control que puede ser una válvula de expansión o un tubo capilar [9].

- En circuitos que dispone de tubo capilar las presiones en los lados de succión y descarga se igualan durante la parada del compresor. En este tipo de circuito, el compresor puede ser dotado de un motor con bajo torque de arranque (LST, Low Starting Torque), en un circuito con válvula de expansión, solamente hay flujo de refrigerante por la válvula mientras el compresor se encuentre conectado, las presiones entre la succión y la descarga no se igualan, en este caso, el compresor es dotado de un motor con alto torque de arranque (HST, High Starting Torque) [9].

- Temperatura de evaporación: La absorción de calor por el refrigerante va a depender de la temperatura de evaporación, es así que el trabajo realizado por el motor en un compresor para alta temperatura de evaporación será mayor que el realizado por el mismo compresor en baja temperatura de evaporación. Consecuentemente, motores para aplicaciones en sistemas de

alta presión de evaporación deben tener un torque más elevado de funcionamiento, el compresor puede ser de alta presión de retorno para una alta temperatura de evaporación (HBP, High Back Pressure), de media temperatura de evaporación para una temperatura media de evaporación (MBP, Medium Back Pressure) o de baja presión de retorno para una baja temperatura de evaporación (LBP, Low Back Pressure)[9].

Según lo mencionado se procede a seleccionar un compresor, como el que se observa en la figura 2.3, con las siguientes características [3], [6], [9]:

- Potencia (HP): 3/4 HP
- Voltaje (V): 115-127
- Frecuencia (Hz): 60
- Refrigerante: R-134 A

Dentro de la variedad de compresores disponibles en el mercado se ha decidido que para el presente proyecto se empleará uno del fabricante Embraco, cuyo modelo es el FFI 12HBX, el mismo emplea un arranque por relé de intensidad, protector térmico y condensador de arranque, CSIR, el cual consiste en una bobina que se conecta en serie con el relé del devanado principal, este tipo de arranque se emplea en motores de hasta 1 HP, en este caso en particular la potencia del compresor es de 3/4 HP de modo que no presentará inconvenientes.

En la figura 2.4 se puede observar un relé de intensidad, el mismo tiene cinco terminales que vienen marcados con los números 10, 11, 12, 13, 14, el cual dispone de un contacto N.A.

Al circular corriente por la bobina del relé, terminales 10 y 12, el contacto se cierra, cuando la corriente que circula por la bobina es insuficiente para mantener el contacto cerrado este se abre por efecto de un muelle o por gravedad.

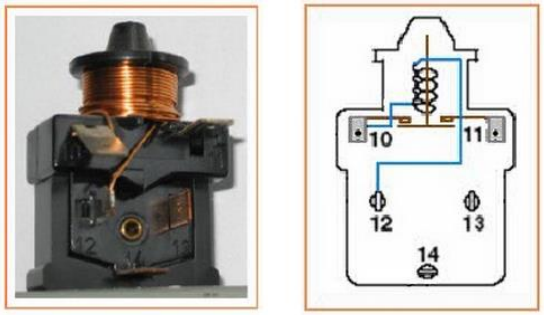


Figura 2.4. Relé de corriente. Tomado de [3].

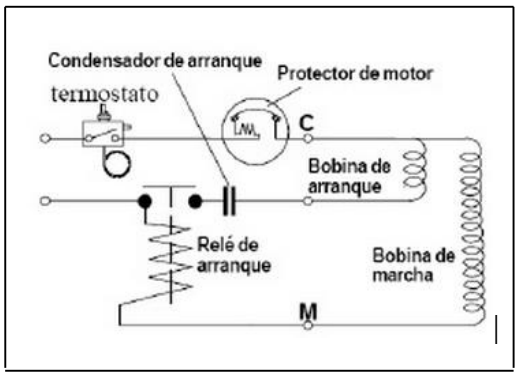


Figura 2.5. Diagrama del circuito eléctrico de refrigeración. Tomado de [11].

En la figura 2.5 se aprecia un diagrama esquemático del circuito eléctrico de refrigeración.

El ventilador para enfriamiento del compresor es de 110 VAC, 60 Hz, tendrá el mismo estado de funcionamiento que el compresor, es decir el ventilador estará prendido cuando el compresor esté funcionando, y estará apagado cuando el compresor también lo esté.

Figura 2.6. Ventilador. Tomado de [12].

En la figura 2.6 se observa el tipo de ventilador que acompaña a un compresor para su enfriamiento durante la operación, es importante recalcar que este ventilador se emplea de forma externa al equipo.

2.1.1.7 Función del condensador.

El condensador elimina del sistema de refrigeración, el calor absorbido por el evaporador y bombeado por el compresor. El condensador recibe el refrigerante caliente que sale del compresor a través de un corto tubo que une el compresor y el condensador y que se denomina conducto de gas caliente [9].

El compresor fuerza al refrigerante caliente a entrar por la parte superior de la bobina del condensador. El gas es empujado a alta velocidad, alta temperatura [9].

El refrigerante que entra en el condensador está más caliente que el aire circundante, por lo tanto comienza a producirse un intercambio de calor rápido. A medida que el gas se mueve a través del condensador, comienza a entregar calor al aire circundante, lo que origina una reducción en la temperatura del refrigerante. El gas continua enfriándose hasta que alcanza la temperatura de condensación y el cambio de estado comienza a producirse [9].

Figura 2.7. Condensador. Tomado de [13].

Cuando el refrigerante completa aproximadamente el 90% del recorrido a lo largo del condensador, está compuesto casi exclusivamente por líquido. En la figura 2.7 se aprecia el aspecto que tiene el condensador.

2.1.1.8 Función del evaporador.

El evaporador es el dispositivo donde se vaporiza por completo el refrigerante, al absorber el calor del espacio circundante, el líquido que se encuentra en el interior del condensador, está sometido a la presión de compresión, siendo necesario mantener esta presión para el funcionamiento del sistema, en la figura 2.8 se observa físicamente un evaporador de tipo comercial.

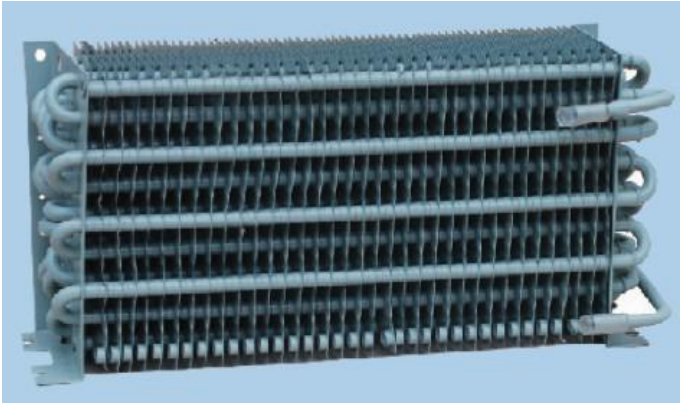


Figura 2.8. Evaporador. Tomado de [13].

En el preciso instante en que el líquido refrigerante a alta presión, pasa a través de la restricción al interior del evaporador que se encuentra a baja presión, el refrigerante se convierte, aun cuando no sea más que por un instante en líquido refrigerante a baja presión. Ello ocurre solamente durante una fracción de segundo porque enseguida dicha perdida de presión provoca inmediatamente la evaporación, con la consiguiente absorción de calor que esa evaporación trae asociada [9].

El aire atmosférico es una mezcla de gases que contiene, especialmente vapor de agua en suspensión, este vapor de agua tiende a depositarse sobre las superficies refrigerantes cuya temperatura es inferior al de la cámara y, en mayor parte de los casos, por debajo de 0°C, este vapor se deposita en forma de escarcha, la cual se debe a las infiltraciones de vapor de agua a través de las paredes y puerta por no ser totalmente estancas. Otra fuente de humedad es la que producen los productos almacenados [10].

La escarcha en los tubos del evaporador reduce la eficiencia del sistema, ya que el hielo forma un aislante, que provoca una disminución de la producción frigorífica, aumentando el tiempo de funcionamiento del equipo, este hecho hace que el consumo de energía eléctrica se incremente, al aumentar el tiempo de operación del equipo, por lo cual es necesario la realización de un deshielo de forma regular [10].

Para este propósito al final de cada proceso de leudado el equipo ingresa de forma automática al modo de descongelamiento, con lo cual garantiza que el evaporador no tenga hielo en su superficie antes de iniciar otro proceso.

Para proveer de energía térmica al sistema de descarche se emplea una niquelina como la mostrada en la figura 2.9, la cual en este caso es de 400 W a 110 V AC.

Figura 2.9. Niquelina de descongelamiento. Tomado de [14].

2.1.2 SISTEMA DE HUMIDIFICACIÓN.

El sistema humificador será el encargado de elevar la humedad relativa del ambiente en la cámara, así como la temperatura, a través del ingreso de vapor de agua. El sistema humificador se utiliza en las etapas de calentamiento y de fermentación donde la humedad relativa del ambiente así como la temperatura se debe incrementar desde los 2°C hasta los 26°C, por tanto se debe realizar un proceso de calentamiento con humidificación de aire.

El dispositivo encargado de realizar esta actividad es el humidificador, que consta de los siguientes elementos:

- Niquelina.
- Interruptor de nivel.
- Electroválvula.
- Ventiladores.

2.1.2.1 Niquelina.

Para el sistema de calentamiento y evaporación del agua se seleccionó resistencias eléctricas o más conocidas comercialmente como niquelina como la mostrada en la figura 2.10, la cual será alimentada con energía eléctrica y a través de la energía térmica producidas, provocarán en el agua, un cambio de fase, de líquido a vapor, el cual será conducido hacia el interior de la cámara, a través de un ventilador. La niquelina es de 280 W a 110 V.

Figura 2.10. Niquelina para calentamiento. Tomado de [14].

2.1.2.2 Relé de nivel.

El relé de nivel es un dispositivo de control, el cual provee de una señal digital que permite conocer en este caso, el nivel de agua contenido en el depósito de evaporación de agua, con el propósito de reponer lo perdido debido a la evaporación del agua.

Es importante mencionar que el depósito así como el interruptor de nivel son de acero inoxidable, esto con el propósito de evitar contaminar el ambiente con agentes tales como óxidos u otros, que pueden producirse debido al contacto de

agua con un metal que contiene hierro, lo cual originaría también una contaminación hacia el producto contenido en la cámara de leudo, en la figura 2.11 se aprecia este dispositivo.

Figura 2.11. Relé de nivel. Tomado de [15].

2.1.2.3 Electroválvula.

Es un dispositivo actuador dentro de la parte de control del sistema, el mismo permite el paso o bloqueo del agua hacia el depósito colector, que se emplea para la generación de vapor en el interior de la cámara, según se observa en la figura 2.12 tiene una unión roscada tipo NPT macho a la entrada, también dispone de un pequeño filtro a fin de evitar el paso de impurezas hacia el colector de agua.

Figura 2.12. Electroválvula para ingreso de agua. Tomado de [15].

La electroválvula empleada en este caso es normalmente cerrada, que implica que está cerrada impidiendo el paso del agua ante la ausencia de energía en los terminales de la bobina, y se abre cuando la bobina se energiza, con lo cual el agua puede ingresar hacia el depósito.

2.1.2.4 Ventiladores.

De acuerdo a la figura mostrada, 2.13 y 2.14 respectivamente, estos ventiladores son empleados al interior de la cámara con el propósito de distribuir el vapor en todo el volumen de la cámara para que todo el producto contenido se someta al proceso de fermentación, de forma homogénea.

Figura 2.13. Ventilador cilíndrico. Tomado de [12].

Figura 2.14. Ventilador. Tomado de [12].

2.1.3 SENSOR DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA DHT 11.

El DHT 11, figura 2.15, es un sensor de temperatura y humedad relativa cuya salida es de tipo digital, esta característica lo hace ideal para ser usado en un sistema de adquisición de datos de estas dos variables.

Este sensor incluye un elemento de medida de la humedad relativa del tipo capacitivo, así como un elemento también resistivo de tipo NTC para la medición

de temperatura, los cuales se asocian a un microcontrolador de 8 bits, ofreciendo una señal de salida fiable, inmune a interferencias, este dispositivo tiene un bajo consumo de energía, capacidad de transmisión de datos de hasta 20m., emplea el protocolo de transmisión de datos one wire, este dispositivo viene en un encapsulado de 4 pines [16].

2.1.3.1 Especificaciones técnicas del sensor.

Tabla 2.1. Especificaciones del DHT 11. Tomado de [16]

Especificación:	**Descripción:**
Alimentación	3 VDC- 5 VDC.
Señal de salida	Salida digital, comunicación 1-wire.
Elemento sensor, humedad.	Capacitor de humedad, polímero
Elemento sensor, tempera.	Termistor, NTC.
Rango de operación	Humedad: 20%-95% RH Temperatura: 0°C hasta 50°C.
Precisión	Humedad: +- 2% RH Temperatura: +- 2°C
Resolución	Humedad: 1% RH Temperatura: 0.1 °C
Tamaño	12x15.5x5.5 mm.

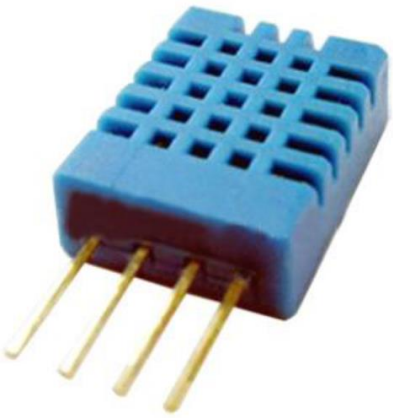


Figura 2.15. Sensor de humedad relativa DHT 11. Tomado de [16].

2.1.3.2 Conexionado:

Una vez que el sensor es alimentado, no se deben enviar instrucciones al mismo durante al menos 1 segundo, tiempo en el cual el sensor atraviesa por su estado de inestabilidad, adicionalmente es recomendable instalar un capacitor de 100 nF entre los terminales VCC y GND, como un filtro para la señal de ruido de frecuencia alta [16].

2.1.3.3 Protocolo de comunicación serial (one wire, bidireccional).

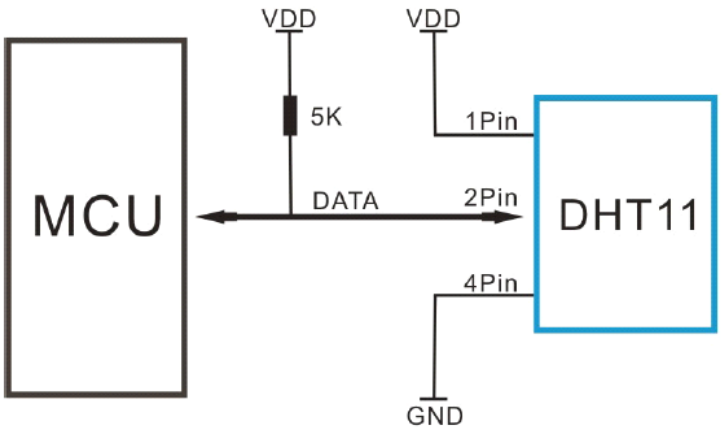


Figura 2.16. Conexionado del DHT-11. Tomado de [16].

En la figura 2.16 se aprecia el conexionado adecuado del sensor, el voltaje de operación debe ser de 3.3 a 5 VDC. Cuando el sensor es inicialmente alimentado, no es recomendable enviar instrucciones al mismo, hasta pasar el estado inestable. La transmisión completa de los datos se compone de 40 bits, y el sensor envía los bits más significativos primero, la transmisión se realiza de acuerdo al siguiente formato [16].

DATO: *8 bits parte entera de HR+8 bits para la parte decimal HR+8 bits parte entera T+ 8 bits parte decimal T.*

Si la transmisión de datos es correcta, el checksum debería ser la suma binaria de los bytes siguientes:

CHECKSUM: 8 *bits parte entera de HR+8 bits para la parte decimal HR+8 bits parte entera T+ 8 bits parte decimal T.*

Cuando el microcontrolador envía una señal de inicio, el DHT 11 cambia de un estado de bajo consumo (standby) a un estado activo. Cuando el microcontrolador termina de enviar la señal de inicio, el DHT 11 enviará una señal de respuesta de 40 bits que reflejarán la humedad relativa y la temperatura medida, hacia el microcontrolador. Sin la señal de inicio del microcontrolador, el DHT 11 no le enviará ninguna señal de respuesta, una vez que el DHT 11 envía los datos, este regresará al estado de bajo consumo hasta que otra condición de inicio sea detectada nuevamente [16].

En la siguiente figura 2.17, a continuación mostrada, se aprecia las señales descritas.

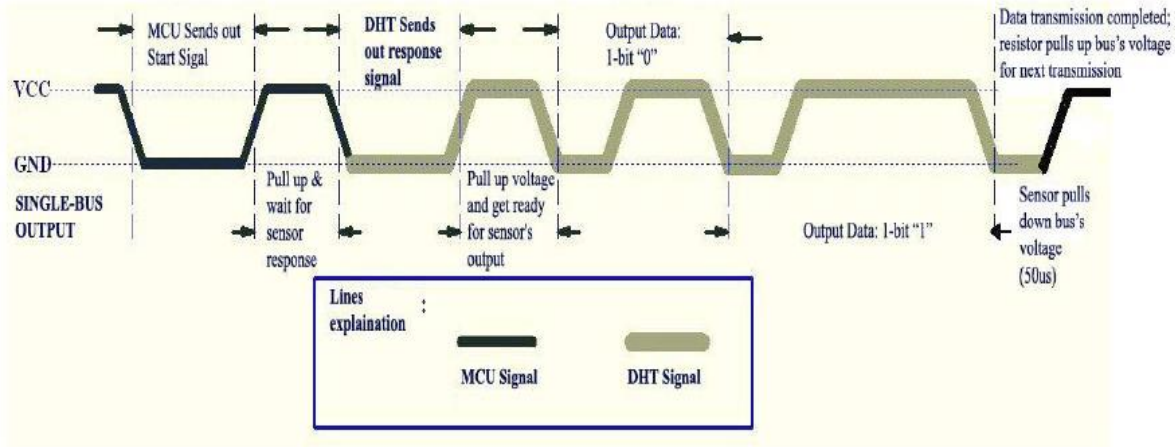


Figura 2.17. Proceso de comunicación. Tomado de [16].

2.1.4 SENSOR DE TEMPERATURA.

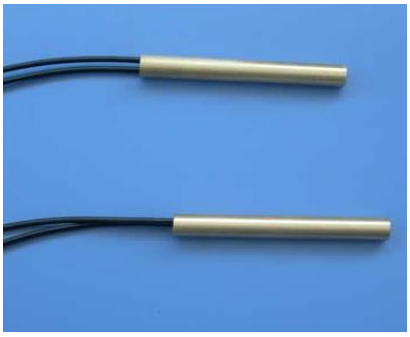


Figura 2.18. Termistor. Tomado de [17].

El sensor de temperatura y humedad relativa, DHT 11 empleado en el presente proyecto no está diseñado para medir temperaturas negativas, y dado que el rango de operación de la cámara de leudo va desde temperaturas inferiores a los 0°C, se requiere entonces de un sensor de temperatura capaz de realizar esta operación, con este propósito se ha seleccionado un sensor muy empleado dentro de los equipos comerciales de refrigeración, que no es más que un termistor NTC, como el que se muestra en la figura 2.18, cuya descripción se presenta a continuación.

Un termistor es un resistor sensible a la temperatura, el cual es muy sensible, es decir que presenta mayor cambio en el parámetro resistencia en función de pequeños cambios de temperatura.

Los termistores están generalmente compuestos de materiales semiconductores y existen básicamente dos tipos: los de coeficiente negativo de temperatura (NTC) y los de coeficiente positivo de temperatura (PTC). Los primeros son los más usados y disminuyen su resistencia con el incremento de temperatura [18].

Un termistor si bien es cierto es muy sensible, sin embargo su respuesta no es lineal y su curva característica varía según sea el fabricante.

La curva característica de un termistor individual puede ser aproximada a través del uso de la ecuación de Steinhart - Hart, que corresponde a la ecuación 2.1.:

$$\frac{1}{T} = A + B * Ln(R) + C * (Ln\ R)^3 \qquad (2.1.)$$

Donde:
T = Temperatura en °K.
R = Resistencia del Termistor en KΩ.
A, B, C = Constantes de la curva de aproximación.

Las constantes A, B, y C pueden ser calculadas seleccionando tres puntos de la tabla o curva que acompaña el termistor y resolviendo un sistema de ecuaciones simultáneas de tres incógnitas [18].

Cuando los puntos son seleccionados en un intervalo que abarca unos 100°C considerando el centro del rango nominal de temperatura del termistor, la ecuación se aproxima a +/- .02% de la curva característica [18].

A continuación se describe el proceso de caracterización del sensor seleccionado.

2.1.4.1 Cálculo de las constantes de la ecuación de Steinhart - Hart.

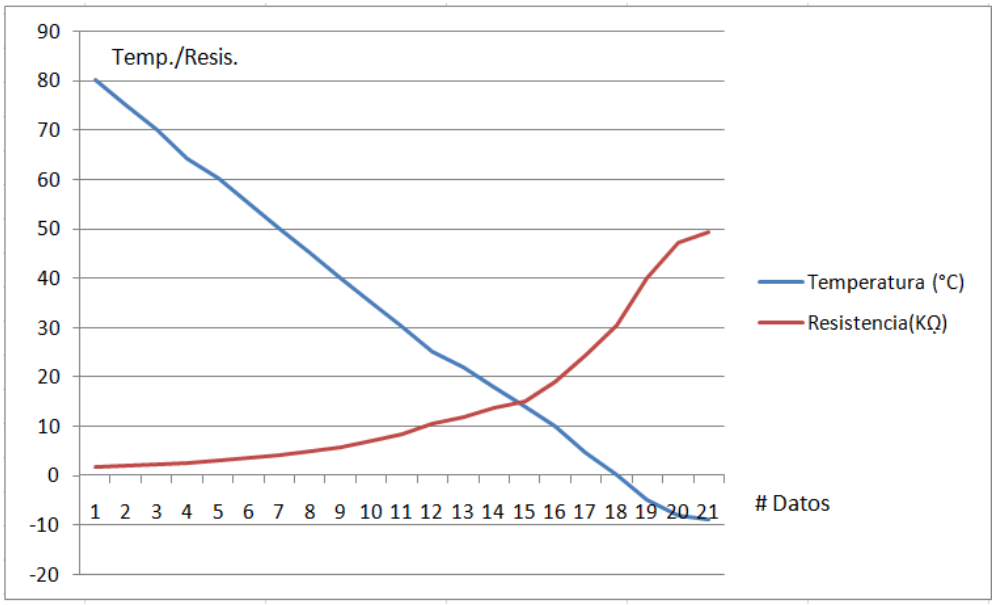


Figura 2.19. Gráfica temperatura vs resistencia en un termistor NTC.

El termistor empleado en el proyecto, describe una curva característica, que se muestra en la figura 2.19.

Para el cálculo de las constantes se resuelve el sistema de ecuaciones simultáneas de tres incógnitas para los puntos 0°C, 25°C y 70°C, considerando la siguiente igualdad, ° K = ° C + 273,15.

En la tabla 2.2 se presenta la obtención de los valores medidos de forma práctica:

Tabla 2.2. Datos de lectura del termistor.

Temperatura (°C)	Resistencia(KΩ)
-9	53,2
-8,2	47,2
-5	40
0	30,5
4,7	24,3
10	18,8
15	15,31
18	13,55
20	11,67
25	10,28
30	8,32
35	6,81
40	5,71
45	4,78
50	4,11
55	3,44
60	2,92
64	2,5
70	2,11
75	1,83
80	1,61

Se plantea el siguiente sistema de tres ecuaciones 2.2., 2.3., y 2.4.:

$$\frac{1}{273.15+70} = A + B * Ln(2.11) + C * (Ln\ 2.11)^3 \qquad (2.2.)$$

$$\frac{1}{273.15+25} = A + B * Ln(10.28) + C * (Ln\ 10.28)^3 \qquad (2.3.)$$

$$\frac{1}{273.15+0} = A + B * Ln(30.5) + C * (Ln\ 30.5)^3 \qquad (2.4.)$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones, se determina las siguientes constantes:

$$A = 0.002708.$$

$$B = 0.000272.$$

$$C = 0.00000025.$$

Con lo cual la ecuación de la curva sería la mostrada en 2.5.:

$$T_{\circ C} = \frac{1}{0.002708 + 0.000272 * Ln(R) + 0.00000025 * (Ln\ R)^{-3} - 273.15} \qquad (2.5.)$$

Hasta este punto se ha determinado la relación que existe entre la temperatura y la resistencia del sensor que se ha decidido emplear, sin embargo, aún no son útiles para el sistema los datos hasta aquí obtenidos, por esta razón se precisa emplear uno de los periféricos disponibles en el microcontrolador, por lo cual se decide utilizar una configuración básica de divisor de voltaje, donde las variaciones de temperatura, producirán una variación de resistencia en el sensor, la misma que provocará una variación de voltaje en el circuito divisor, esta variación de voltaje será aprovechada para que a través del conversor análogo a digital del microcontrolador se logre obtener una lectura del sensor, con este valor y aplicando una serie de ecuaciones se determinará la temperatura del medio donde se encuentra el sensor de temperatura.

2.1.4.2 Interfaz Microcontrolador –Termistor.

Con el propósito de evitar el auto calentamiento del termistor, debido a la circulación de una corriente a través del mismo durante la medición, es necesario determinar la resistencia adecuada a colocarse en serie con el dispositivo sensor:

$$I_{max} = 1\ mA.$$

$$Asumo\ la\ I = 0.5\ mA.$$

$$Considerando\ la\ peor\ condición:$$

$$R_{term} \Longrightarrow 0$$

$$I = \frac{Vcc}{R_1 + R_{term}} = \frac{Vcc}{R_1} \qquad (2.6.)$$

De la ecuación 2.6., despejando R_1 se obtendrá el valor de la resistencia R_1.

$$R_1 = \frac{5\ V}{0.5\ mA} = 10K\Omega.$$

Con lo cual, el circuito resultante será el mostrado en la figura 2.20:

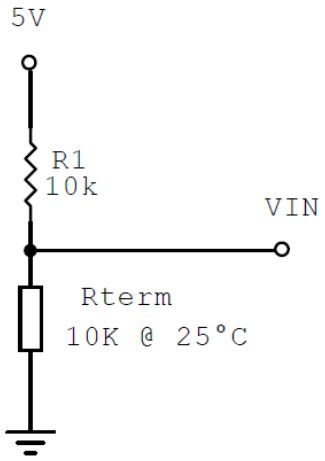


Figura 2.20. Interfaz microcontrolador- termistor.

Se precisa determinar la relación existente entre el voltaje, la lectura en el CAD del microcontrolador y la temperatura, para lo cual se procede de la siguiente manera, se plantea la ecuación 2.7.:

$$V_{in} = \frac{R_{term}}{(R_{term} + R_1) * V_{ref}} \qquad (2.7.)$$

Dado que se utiliza un convertidor analógico a digital, de 10 bits de resolución, los valores entre $0\ V$ y $\mathrm{V_{ref}}$ son cuantificados como valores de 10 Bits desde 0 hasta 1024 (Vad) con lo cual se plantea la ecuación 2.8.:

$$V_{in} = \frac{V_{ad}}{1024 * V_{ref}} \qquad (2.8.)$$

Igualando las ecuaciones 2.7., con 2.8., y cancelando los términos $\mathrm{V_{ref}}$ y $\mathrm{R_{term}}$, se obtendrá la ecuación 2.9.:

$$R_{term} = \frac{R_1 * V_{ad}}{1024 - V_{ad}} \qquad (2.9.)$$

Conocida la R_{term}, la temperatura en grados centígrados puede ser determinada utilizando la ecuación de Steinhart - Hart, deducida anteriormente, con lo cual quedará la ecuación 2.10.:

$$T_{\circ C} = \frac{1}{0.0027 + 0.00027 * Ln(R_{term}) + 0.0000002 * (Ln\ R_{term})^3 - 273.15} \quad (2.10.)$$

2.1.5 EL RELOJ EN TIEMPO REAL DS1307.

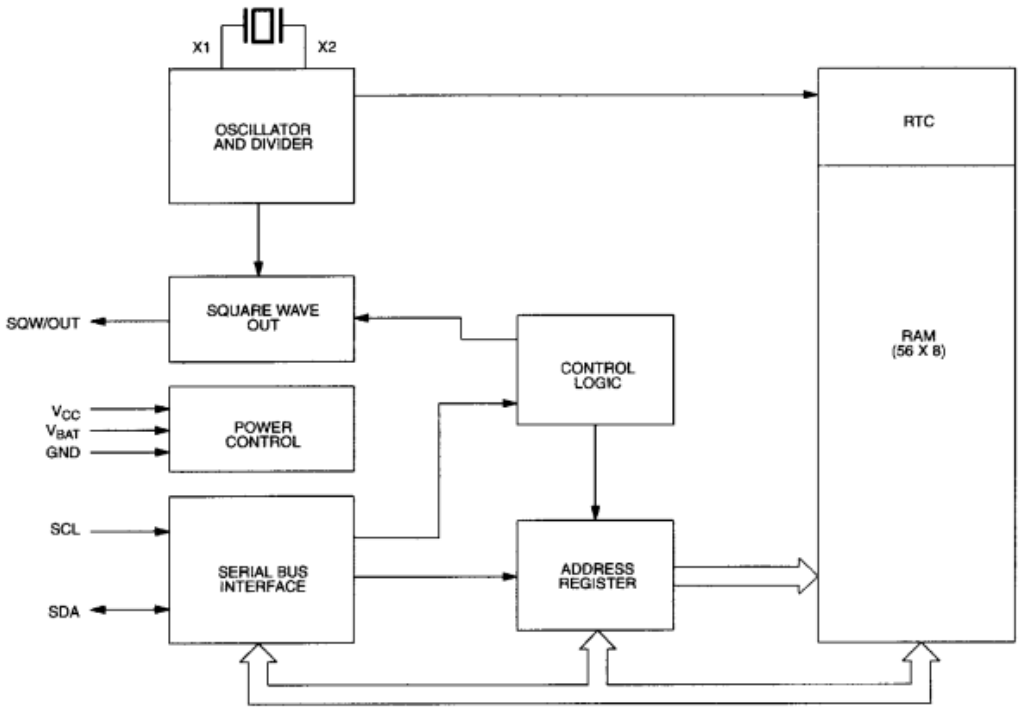


Figura 2.21. Diagrama de bloques DS 1307. Tomado de [19].

El DS 1307 es un reloj serial en tiempo real, que emplea el protocolo de comunicación I^2C, dispone de una memoria no volátil SRAM de 56 bytes. El direccionamiento y los datos son transferidos de forma serial a través de un bus bidireccional de 2 cables. El reloj calendario provee segundos, minutos, horas, días, fecha, año. Al final del mes la fecha es ajustada automáticamente para meses con menos de 31 días, incluyendo correcciones para el año bisiesto, el reloj opera en formato de 24 o 12 horas, con indicador AM/PM. El DS 1307 está construido con un circuito que detecta la ausencia de energía y se cambia automáticamente a la batería de respaldo. A fin de proveer la frecuencia de oscilación necesaria para su operación se debe insertar a sus pines un cristal de 32,768 Khz [19].

En la figura 2.21 se observa el diagrama a bloques del DS 1307.

2.1.5.1 Operación.

El DS1307 opera como un dispositivo esclavo en el bus serial. El acceso es obtenido mediante la implementación de una condición de START y proveyendo de un código de identificación del dispositivo seguido por un registro de direcciones así puede ser accedido secuencialmente hasta que la condición de STOP sea ejecutada. Cuando V_{CC} cae debajo del 1,25* V_{BAT}, el dispositivo termina el acceso en progreso y resetea el contador de dirección del programa. El ingreso al dispositivo no será reconocido durante este tiempo para prevenir la escritura de datos erróneos [19].

2.1.5.2 Descripción de pines.

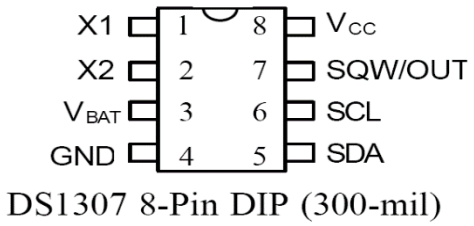


Figura 2.22. Descripción de pines. Tomado de [19].

De a acuerdo a lo mostrado en la figura 2.22 se describen los pines a continuación:

2.1.5.2.1 Vcc, GND:

El voltaje DC es provisto a través de estos pines, Vcc es el voltaje de entrada a +5 voltios. Cuando este voltaje es aplicado el dispositivo es totalmente accesible y los datos pueden ser leídos o escritos. Cuando una batería de 3 voltios es conectada al dispositivo y Vcc cae por debajo de 1,25* V_{BAT} la lectura y escritura son inhabilitadas [19].

2.1.5.2.2 VBAT:

Es la entrada de batería para cualquier pila de litio estándar de 3V u otra fuente de energía, el voltaje de la batería debe estar entre 2,0 y 3,5 voltios para una apropiada operación. Una batería de litio de 48 mA-hr o mayor podría respaldar al DS 1307 por más de 10 años en ausencia de energía, a 25 ^{o}C [19].

2.1.5.2.3 SCL (Serial Clock Input):

Es usado para sincronizar el movimiento de datos en la interface serial [19].

2.1.5.2.4 SDA (Serial Data Input/Output):

Es el pin de entada/salida de datos de la interface I^2C. El SDA tiene drenaje abierto el cual requiere de una resistencia pull up [19].

2.1.5.2.5 SQW/OUT (Square Wave/ Output Driver):

Cuando se habilita poniendo el bit SQWE a 1, en el pin de salida SQW/OUT una de cuatro frecuencias de onda cuadrada están disponibles (1 Hz, 4 kHz, 8 kHz, 32 kHz), este pin está a drenaje abierto por lo cual requiere de una resistencia externa pull up [19].

2.1.5.2.6 X1, X2:

Es para la conexión de un cristal estándar de 32,768 kHz, el circuito interno del oscilador está diseñada para la operación con un cristal [19].

2.1.6 EL MICROCONTROLADOR.

A fin de realizar la automatización del proceso en mención existen dos posibilidades desde el punto de vista del controlador a emplear, un PLC o un microcontrolador, se escogió este último en virtud de que se planea realizar una solución a la medida cuyo costo de manufacturación sea bajo, es de mencionar también que con el mismo se tendrá un amplio abanico de posibilidades a la hora de elegir los dispositivos externos tales como sensores y actuadores ya que el microcontrolador dispone de periféricos muy útiles para esta necesidad, mientras que con el PLC si bien es cierto es un dispositivo robusto, versátil y de fácil programación es una solución costosa para este tipo de proceso, además dado que este proceso tiene señales de entrada analógicas se debería adicionar este tipo de entradas para que el PLC pueda trabajar de forma adecuada lo cual encarecería a un más el costo de manufacturación del dispositivo en mención.

2.1.6.1 Características:

Un microcontrolador es un circuito integrado o chip que incluye en su interior, entre otros circuitos básicos, tres unidades que son: unidad central de procesamiento, memoria y unidades de E/S, y se emplean para llevar a cabo procesos lógicos.

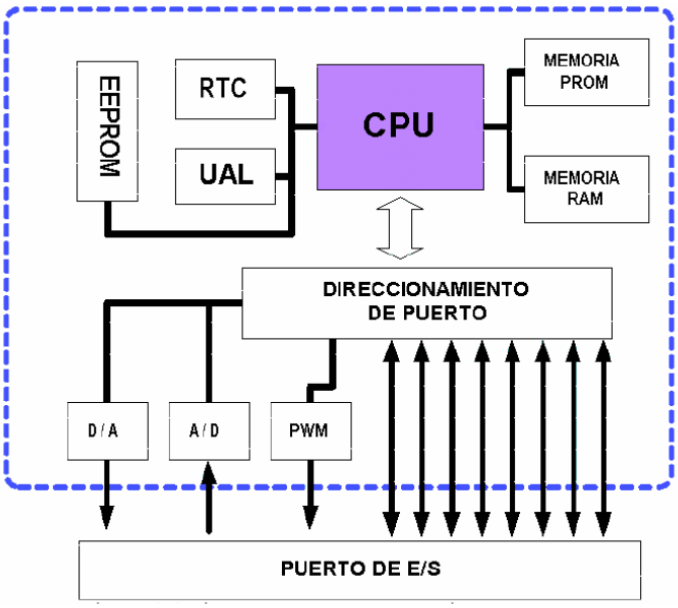


Figura 2.23. Unidades del microcontrolador. Tomado de [20].

Un microcontrolador dispone de un generador de reloj, una memoria para los datos, generalmente una SRAM y una memoria para almacenar el programa, que normalmente suele ser una memoria EEPROM o FLASH, puede disponer además de una gran variedad de dispositivos de entrada/salida, como convertidores de analógico digital, temporizadores, UART y buses de interfaz serie especializados, como I^2C, CAN,USB. Estos dispositivos integrados pueden ser controlados por instrucciones, por lo tanto para su funcionamiento debe incluir un programa en la memoria del mismo. En la figura 2.23 se observa el diagrama a bloques que corresponde a la estructura interna de un microcontrolador [20].

2.1.6.2 Selección del microcontrolador.

Para el proceso a poner en marcha se necesita de un microcontrolador que cumpla con los siguientes requerimientos en cuanto a entradas y salidas disponibles.

Tabla 2.3. Pines necesarios para el proceso,

PERIFÉRICOS		PINES DEL MICROCONTRO.	
Cantidad	Descripción	Entradas	Salidas
4	Sensor digital	4	
1	Sensor de temperatura	1	
1	Sensor humedad relativa	1	
1	LCD		7
7	Pulsadores	7	
2	Comunicación I^2C	1	1
7	Salidas a relé (sistema de control)		10
1	Cristal externo	2	
		16	18
TOTAL			**34 pines**

De acuerdo a lo mostrado en la tabla 2.3, se debe disponer de un microcontrolador de al menos 34 entradas y salidas, los dispositivos habituales cercanos a esa cantidad de pines disponibles son los de 40 pines en sócalo PDIP, adicionalmente se debe considerar que el mismo debe tener entre otras las siguientes prestaciones.

- Manejar protocolo I2C, modo esclavo.
- Conversor análogo-digital.
- Implementar protocolo 1 wire.
- Memoria EEPROM
- Comunicación RS232.

También debido a que el programa a cargarse en la memoria flash del dispositivo requiere de una capacidad considerable, ya que maneja menús de programación para las recetas, pensando en este detalle se decide emplear el PIC18F4620, que

se muestra en la figura 2.24, el mismo tiene las siguientes características a considerar:

- Conversor análogo a digital 10 bits
- 64 Kb., de memoria flash
- 1024 Bytes memoria EEPROM
- Soporta protocolo SPI, los cuatro modos, el I2C modo maestro y esclavo.
- Módulo de comunicación USART, RS232.
- Dos modos de reloj, hasta 40 MHz.

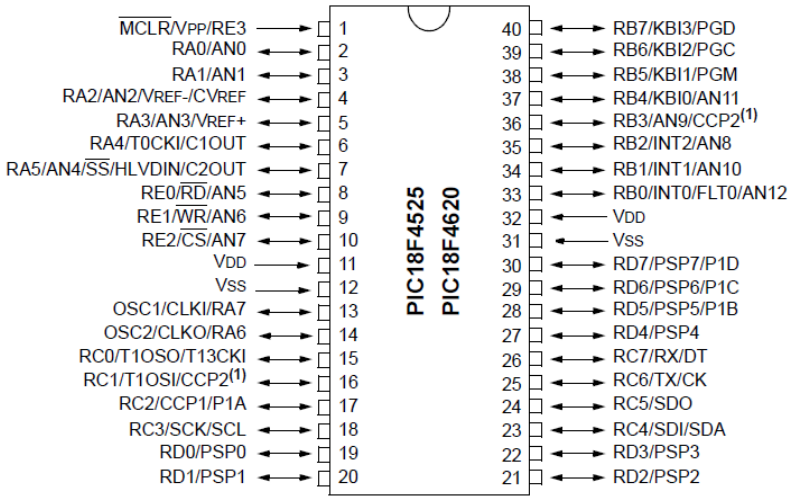


Figura 2.24. Descripción de pines. Tomado de [21].

En la figura 2.25, se puede apreciar en forma general todos los dispositivos que son parte del control del proceso de refrigeración y de leudado.

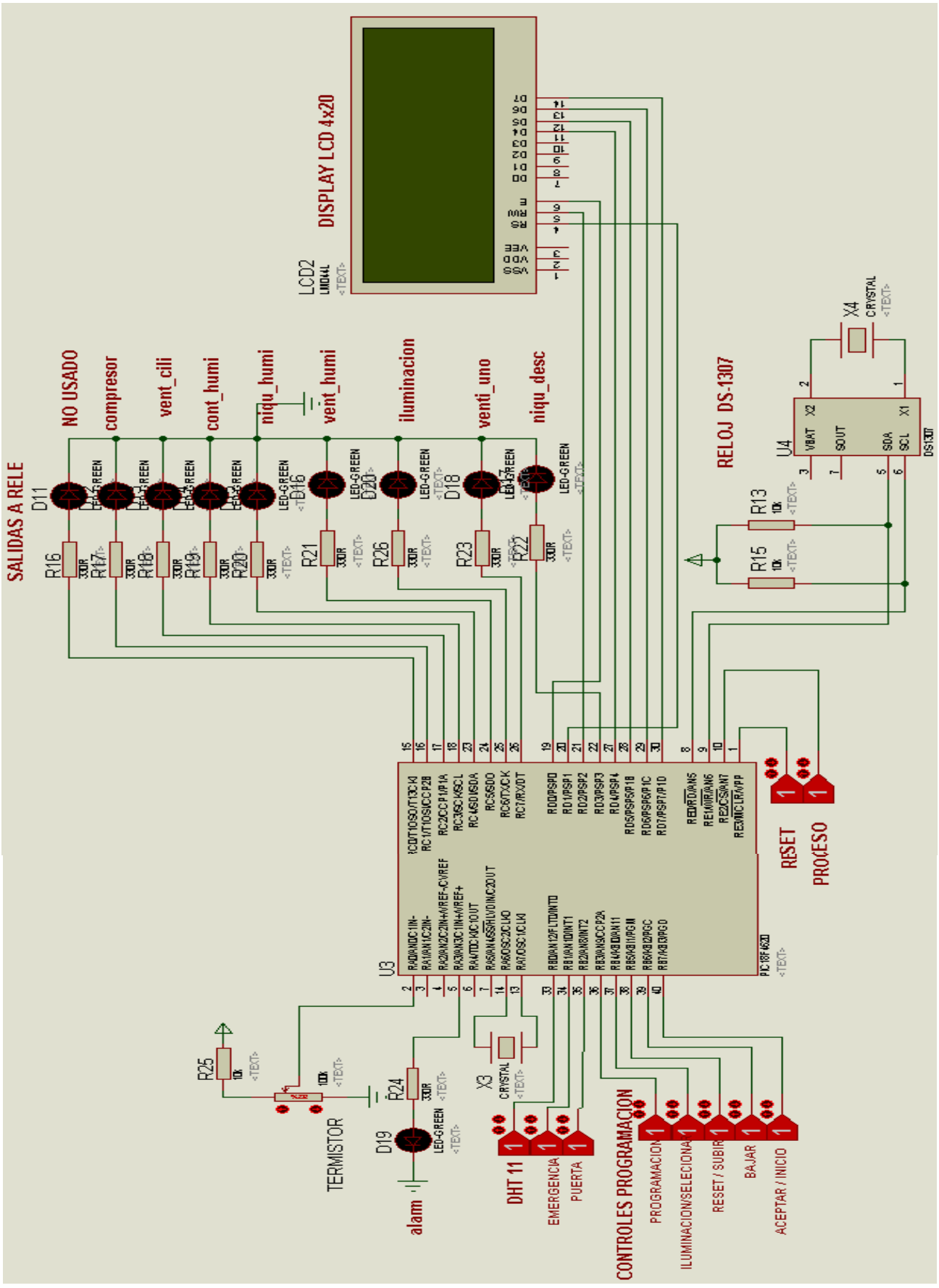


Figura 2.25. Diagrama del circuito implementado.

En la figura 2.25 se muestra el diagrama del circuito, con el cual se simuló el funcionamiento general del sistema, está diseñado en el programa ISIS del fabricante PROTEUS. Es importante mencionar que las entradas donde se muestra el estado lógico, en la práctica se dispone de un circuito asociado con un pulsador, así también, para las salidas de control mostrados con leds según la figura 2.25, en la práctica se dispone de un circuito asociado con un relé.

2.1.6.3 Dimensionamiento de entradas.

De acuerdo a la hoja de datos provista por el fabricante, el microcontrolador puede soportar como entrada y proveer como salida hasta 25 m A.

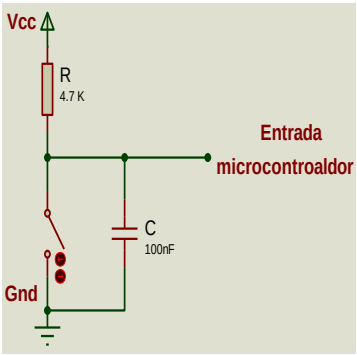


Figura 2.26. Circuito de entrada al microcontrolador.

Para cumplir con la característica antes señalada, se requiere colocar una resistencia externa, para lo cual se asume la condición planteada en la ecuación 2.11.:

$$V = 5\,V_{DC} \qquad (2.11.)$$

Y con el propósito de reducir al mínimo, la posibilidad de afectar la entrada del microcontrolador, se emplea una corriente baja, equivalente a 1 mA.

$$Asumo: I = 1mA.$$

$$R = \frac{V_{DC}}{I_{DC}} = \frac{5V}{1mA} = 5\,K\Omega \qquad (2.12.)$$

En la ecuación 2.12 se determina el valor de la resistencia en cuestión, sin embargo, comercialmente disponemos de una resistencia de 4,7 KΩ.

$$P_R = I^2 * R = (0.001A)^2 * 4700\Omega = 0.05W$$

Entonces las resistencias para las entradas son de 4,7KΩ, 1/4W.

2.1.6.4 Dimensionamiento de salidas.

$$V_M = 5Vdc \tag{2.13.}$$

$$R_{LM} = 130\Omega, valor\ medido. \tag{2.14.}$$

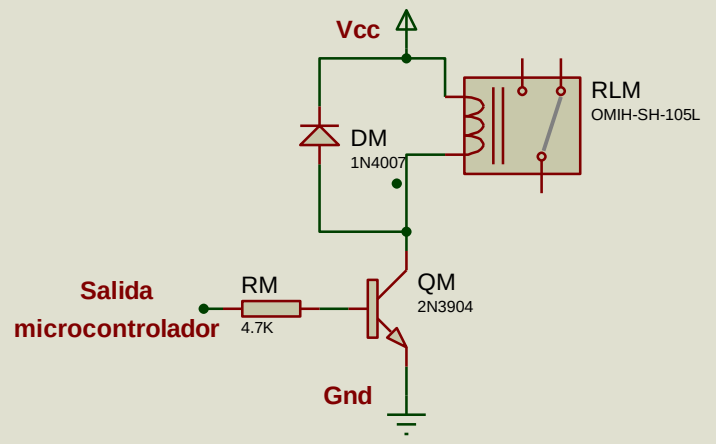


Figura 2.27. Circuito de salida.

Con los valores establecidos en las ecuaciones 2.13 y 2.14 se encuentran los valores para resolver la ecuación 2.15.:

$$I_{RLM} = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_{LM}} = \frac{5 - 0.2}{130} = 37mA \tag{2.15.}$$

2.1.6.5 Dimensionamiento del transistor.

$$I_{RLM} = I_C = 37mA. \tag{2.16.}$$

También se tiene:

$$V_{CE(corte)} = 5V. \tag{2.17.}$$

Tomando en consideración las características establecidas en las ecuaciones 2.16 y 2.17, se considera el transistor 2N3904 como una buena alternativa, en especial por las siguientes condiciones de trabajo:

$I_{Cmax} = 200mA.$

$V_{CEmax} = 40\ V$

$\beta = 100$

La potencia disipada se establece a través de la ecuación 2.18.:

$$P_D = V_{BE} * I_B + V_{CE} * I_C \qquad (2.18.)$$

$$P_D = 0.7 * 0.037 * 10^{-3} + 0.7 * 0.037$$

$$P_D = 0.5\ W$$

Dimensionamiento resistencia R_M, pero antes se establece la ecuación 2.19, para la corriente I_{RM}:

$$I_{RM} = \frac{I_C}{\beta} = \frac{37\ mA}{100} = 0.37\ mA. \qquad (2.19.)$$

Sabiendo que el voltaje de salida del microcontrolador en 1 lógico, es de 5 V, entonces con la ecuación 2.20, se determina R_M:

$$R_M = \frac{V_{sal}}{I_{RM}} = \frac{5\ V}{0.37 * 10^{-3}} = 12{,}5\ K\Omega. \qquad (2.20.)$$

Escogemos el valor normalizado de 10 KΩ.

$$I_{RM} = \frac{V_{sal}}{R_M} = \frac{5}{10\ K\Omega} = 0.5\ mA.$$

$$P_{RM} = I_{RM}^2 * R_M = 0.5mA^2 * 10K\Omega = 2.5mW.$$

Entonces la resistencia sería de 10 KΩ a¼ watio.

2.1.6.6 Dimensionamiento del diodo DM (freewheeling).

El DM es un diodo de marcha libre, que en su operación tendría una corriente de 37 m A y un voltaje de polarización inversa de 5 VDC, el 1N4007 sería una muy buena opción ya que tiene las siguientes características:

$$I_{max} = 3A.$$

$$V_{pico\ inverso} = 1000V.$$

Toda la energía provista al circuito de control del sistema, proviene de una fuente de alimentación, la misma se muestra en la figura 2.28.

Para obtener un voltaje DC de 5 V a partir de los 110 VAC provenientes de la red pública, es necesario pasar por las siguientes etapas:

- Transformador reductor.
- Rectificador.
- Filtrado.
- Regulador.
- Carga

Todas estas etapas se muestran en la figura 2.28.

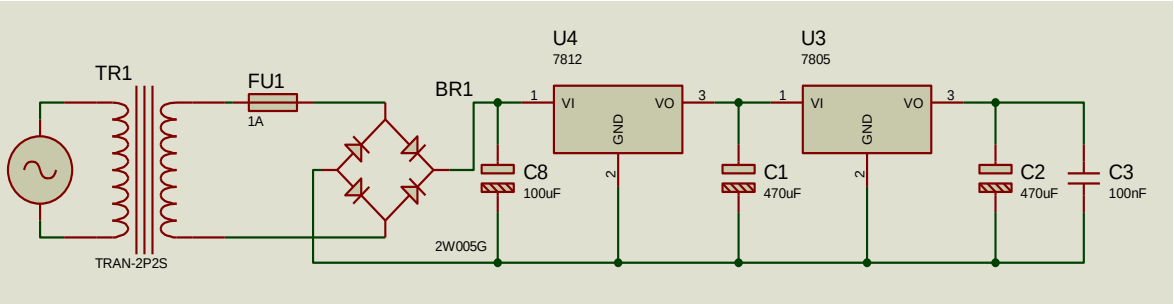


Figura 2.28. Diagrama de circuito para fuente de alimentación.

En la figura 2.29 se puede apreciar el diseño de la placa electrónica a instalarse en el dispositivo de leudado, todas las salidas de la misma son a través de contactos secos de relés, los cuales permitirá la activación de las cargas de potencia. Los condensadores se emplean con el propósito de filtrar la señal obtenida a la salida del puente de diodos.

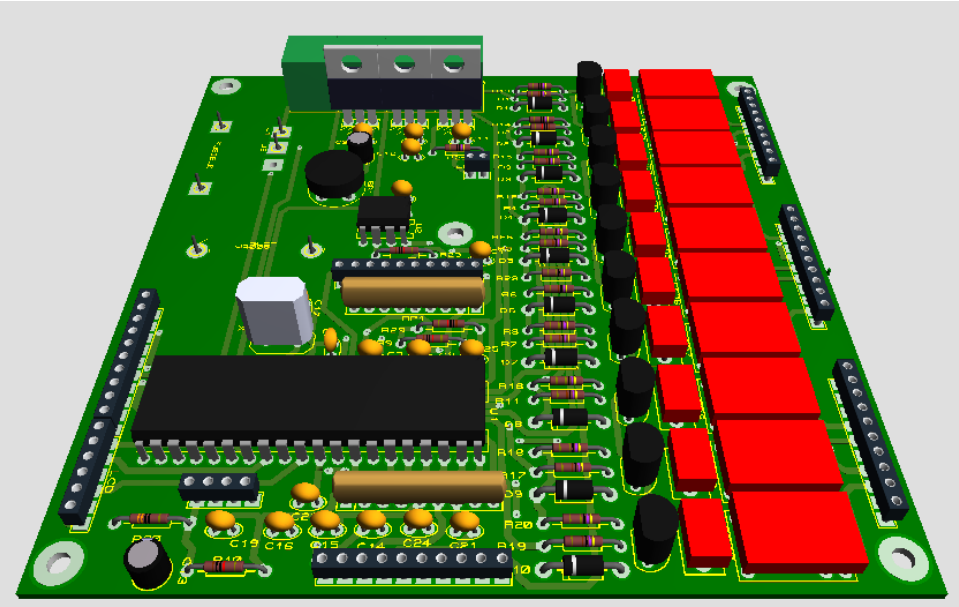


Figura 2.29. Diseño de placa electrónica.

2.1.7 DIMENSIONAMIENTO DE RELÉS Y CONTACTORES.

Para el dimensionamiento de los contactores y de los relés se debe considerar los siguientes aspectos:

- Tipo de accionamiento.
- Voltaje nominal.
- Intensidad nominal de la carga.
- Categoría de utilización.
- Frecuencia.
- Voltaje de aislamiento.
- Frecuencia.
- Voltaje de aislamiento Ui.
- Clase de servicio.
- Voltaje de bobina y contactos auxiliares.

Como criterio de seguridad se considera un sobredimensionamiento del 125% de la potencia nominal de la carga seleccionada.

Cabe resaltar que para el motor del compresor se instaló también una protección térmica de 5 a 10 Amps, que se reguló a un 110% del valor nominal de la carga, es decir, 5.5 Amps.

Tabla 2.4. Dimensionamiento de contactores y relés.

DATOS DE CARGA					ELEMENTO DE CONTROL			
Equipo	Potencia nominal (W)	Voltaje Nominal (VAC)	Corriente Nominal (A)	Categoría de servicio	Voltaje bobina (VAC)	Elemento de control	Corriente nominal (A)	Número de contactos
Compresor	560	110	5	AC 3	110	Contactor	25	3 N.O.
Niquelina descongelamiento	400	110	3,6	AC 1	110	Relé	10	3 N.O.
Niquelina humificador	280	110	2,5	AC 1	110	Relé	10	3 N.O.
Ventilador cilíndrico	100	110	0,8	AC 3	110	Relé	5	3 N.O.
Electroválvula de agua	6	110	0,1	AC 3	110	Relé	5	3 N.O.
Ventilador 1	100	110	0,8	AC 3	110	Relé	5	3 N.O.
Iluminación	110	110	1,0	AC 3	110	Relé	5	3 N.O.
Ventilador 2	100	110	0,8	AC 3	110	Relé	5	3 N.O.
Alarma	10	110	1,0	AC 1	110	Relé	5	3 N.O.

2.1.8 DIAGRAMAS ELÉCTRICOS Y DE CONEXIÓN.

2.1.8.1 Diagramas eléctricos.

En la figura 2.30 y en la figura 2.31, se muestran los diagramas eléctricos de control y de fuerza, que gobierna el accionamiento de las diferentes cargas que forman parte del sistema de fermentación automática.

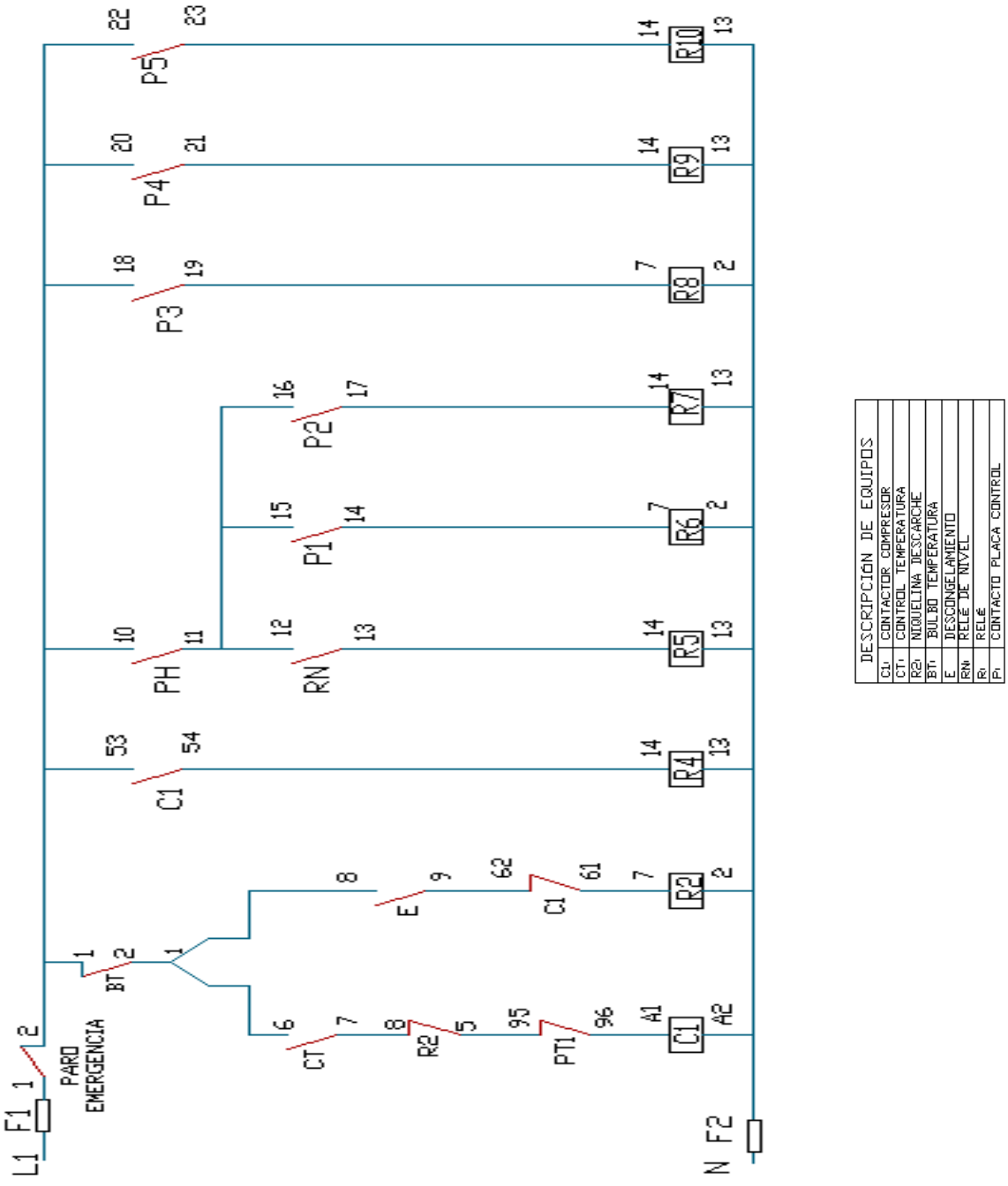


Figura 2.30. Diagrama eléctrico de control.

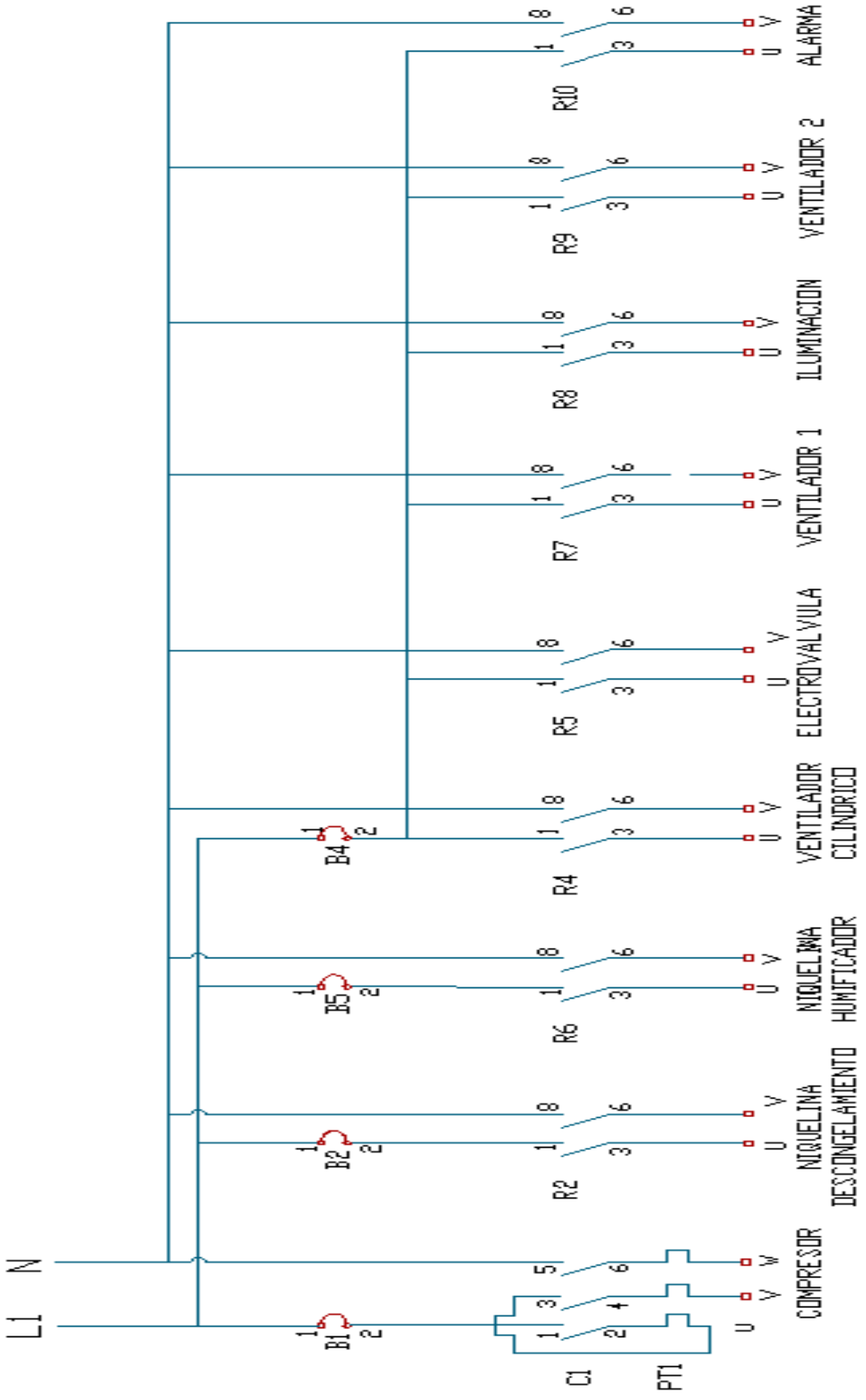


Figura 2.31. Diagrama de fuerza.

Es importante disponer del mismo ya que como cualquier equipo eléctrico o electrónico, durante sus ciclos de funcionamiento puede presentar averías, debido a varias circunstancias operativas, de mal uso o desgaste de los elementos que forman parte del equipo, y con el propósito de facilitar la identificación del problema ocurrido se recurrirá a este diagrama.

2.1.8.1.2 Diagramas de conexión.

En la figura 2.32 se muestra el diagrama general de conexiones de la placa de control electrónica hacia los dispositivos externos, tal como el teclado, pantalla, sensores y salidas de relés para activar las cargas eléctricas que componen el sistema de leudado automático.

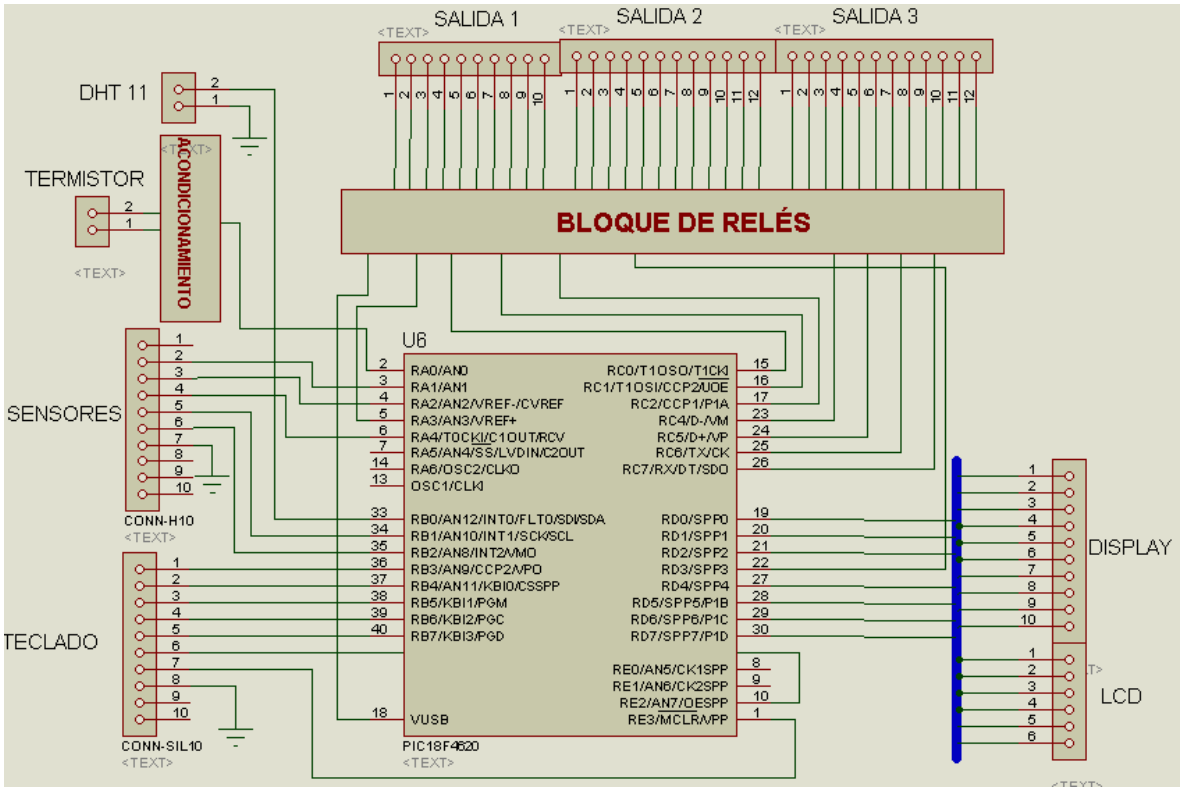


Figura 2.32. Diagrama general de conexión.

2.1.8.4.1 Fuente de alimentación.

En la figura 2.33, se muestra las borneras de conexión disponibles, el transformador de 110 VAC a 12 VAC se conecta en la bornera 12 VAC, en caso de necesitar alimentar a un circuito externo desde la placa se dispone de las borneras marcadas como 12VDC y 5 VDC, la bornera TERMISTOR, es donde se conectara los terminales del sensor de temperatura.

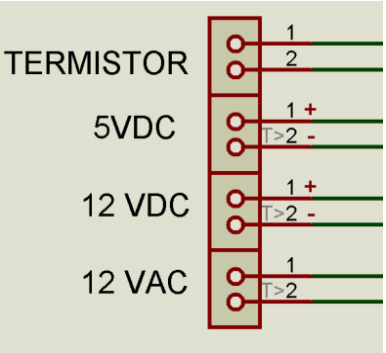


Figura 2.33. Borneras de conexión de la placa electrónica.

2.1.8.4.2 Sensores.

En la figura 2.34, se observa las conexiones que se han de realizar para interconectar las señales entre la placa electrónica de control y la placa de conexión para los sensores de emergencia y de la puerta, las mismas se realizan a través de cable multipar.

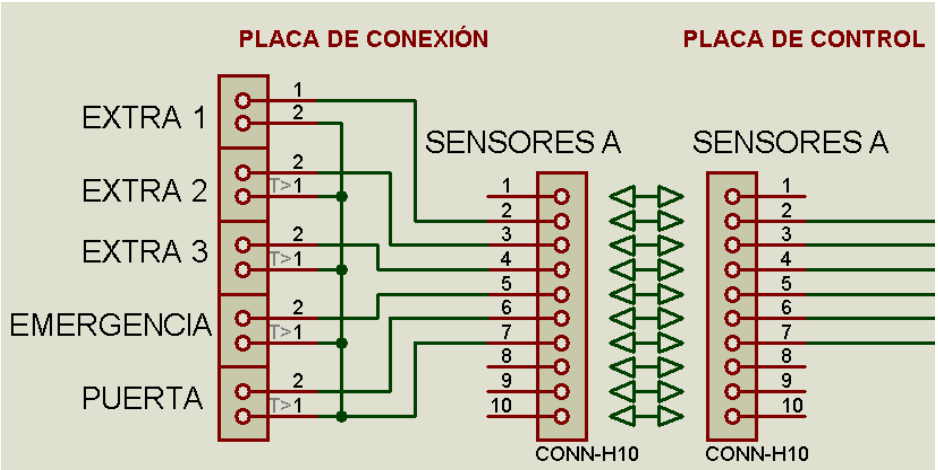


Figura 2.34. Diagrama de conexión de sensores.

2.1.8.4.3 Teclado.

En la figura 2.35, se observa las conexiones entre la placa electrónica de control y la placa de conexión para el teclado.

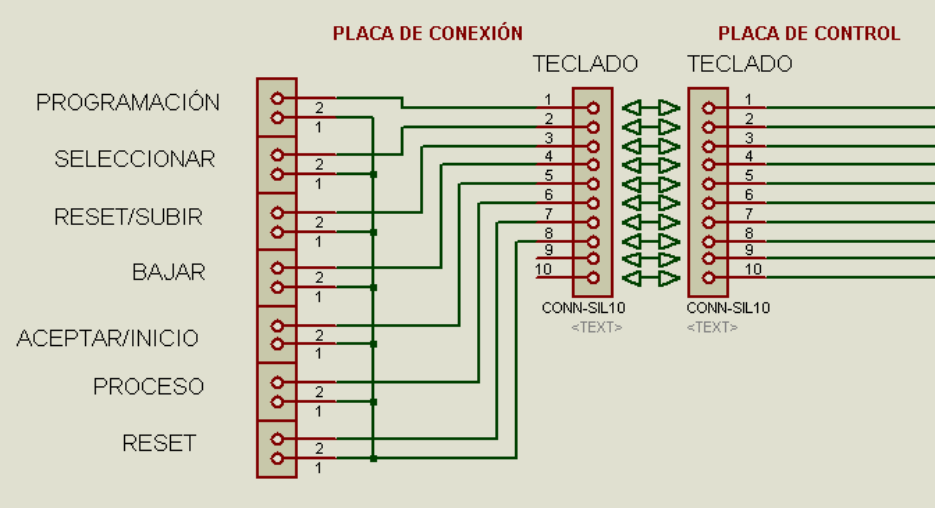


Figura 2.35. Diagrama de conexiones para teclado.

2.1.8.4.4 Salida a relés.

En la figura 2.36, se aprecia el diagrama de conexiones desde la placa de control electrónico hasta la placa de conexión de salida de los relés y hacia los bornes de conexión del circuito eléctrico de control, que se muestra en la figura 2.30.

Figura 2.36. Diagrama de conexiones para relés.

2.1.8.4.5 Display LCD.

En la figura 2.37 se observa las conexiones del display LCD 4x20 en el cual se muestran los mensajes durante la programación y del proceso en general, así como de las alarmas.

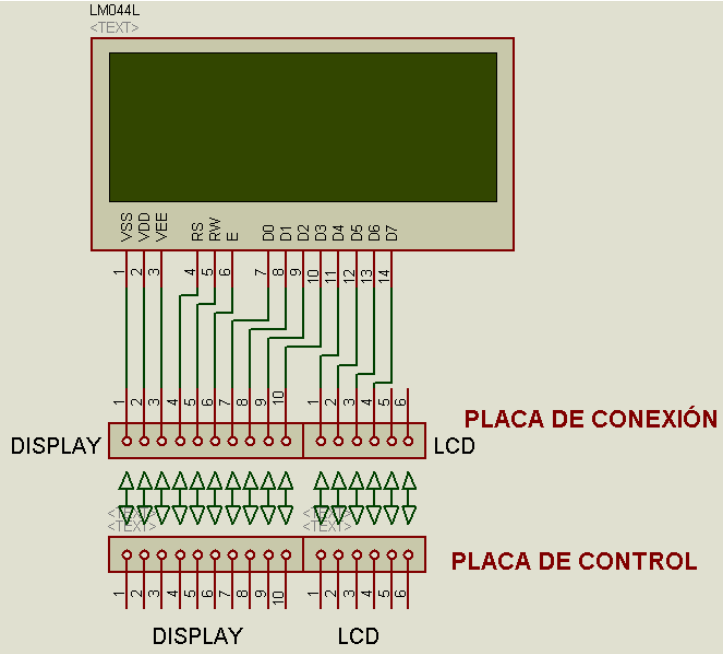


Figura. 2.37. Conexión del display LCD.

2.2. SISTEMA PARA HORNEO DE PAN.

El objetivo fundamental del horno es la cocción de la masa fermentada a fin de transformarla en el producto final, el pan. Esta transformación conlleva un proceso controlado de evolución de temperatura en función del tiempo, además el horno a tratarse utiliza como medio de calentamiento el gas licuado de petróleo (GLP), el uso de este tipo de combustible hace que la instrumentación para operar de forma segura el horno sea importante con el propósito de evitar incidentes y accidentes, de ahí que es imprescindible conocer de forma teórica toda su operación.

El horno empleado para la realización de este proyecto de titulación pertenece a los de tipo estático, a gas empleado en panadería.

2.2.1 SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA Y ENCENDIDO DE LLAMA.

En la figura 2.38 se encuentra la disposición general de la instrumentación requerida para este equipo, como se puede apreciar todo el accionamiento es gobernado por el controlador o programador.

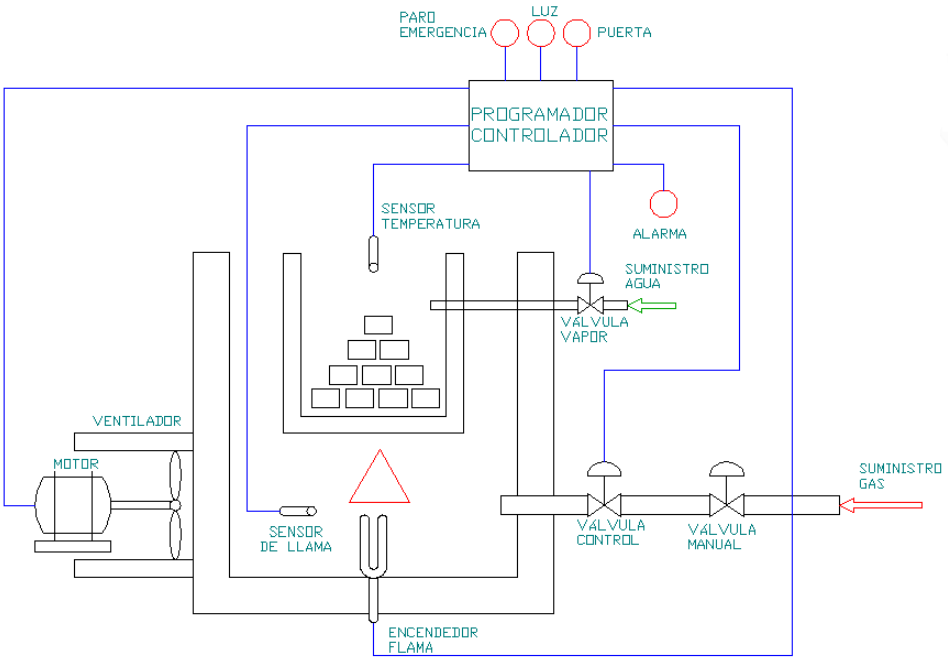


Figura 2.38. Instrumentación del horno a gas. Tomado de [22]

A continuación se detallan los dispositivos empleados dentro del horno, es importante recalcar que algunos elementos ya fueron abordados en la cámara de leudo por lo cual no se hará referencia a los mismos.

2.2.1.1 Encendedor de llama por superficie caliente.

Los primeros sistemas de encendido a gas tenían una llama piloto que constantemente estaba encendida, y su llama, encendía el quemador del horno, sin embargo este método ineficiente de encendido fue reemplazado por un encendedor de llama por superficie caliente.

Este sistema utiliza un producto especial denominado carburo de silicio, que ofrece una elevada resistencia al paso de la corriente eléctrica, es muy duro y no se quema, el encendedor construido con este material se sitúa en el interior del recorrido del gas y cuando se encuentre muy caliente, la corriente de gas que pasa

a través del mismo se inflamará, permitiendo el establecimiento de la llama en el quemador.

Figura 2.39. Encendedor de llama por superficie caliente. Tomado de [23]

Es importante tener presente que los encendedores de superficie caliente fallan por su antigüedad, tienen un tiempo de vida útil de 5 años aproximadamente, en la figura 2.39 se aprecia este dispositivo.

2.2.1.2 Sensor de temperatura.

Industrialmente existen una gran variedad de sensores empleados, pero en este caso particular, se decide emplear un termopar, debido a que el rango de temperatura que debe alcanzar es de hasta aproximadamente los 200 °C, y comercialmente hablando es uno de los más económicos que se encuentran en el mercado, en la figura 2.40 se muestra la forma física del mismo.

Figura 2.40. Termopar. Tomado de [24].

El principio de medición empleado por estos dispositivos se basa en tres principios físicos, el efecto Thomson, el efecto Peltier y el efecto Seebeck los cuales en definitiva establecen que al unir dos alambres de materiales diferentes se presenta una corriente eléctrica cuando las junturas se encuentran a diferente temperatura.

Tabla 2.5. Características de termopares. Tomado de [25].

Tipo	Aleación	Sensibilidad	Rango de temperatura
J	Hierro/Constantan	5.6 mV/100°C	-210°C hasta 760°C
K	Cromel/Alumel	3.6 mV/100°C	-270°C hasta 1372°C
T	Cobre/Constantan	4.5 mV/100°C	-270°C hasta 400°C
E	Cromel/ Constantan	7.9 mV/100°C	-270°C hasta 1000°C

El valor de la tabla 2.5, marcado como sensibilidad es un parámetro importaníisimo que especifica cuantos milivoltios se puede obtener por cada °C., esto presupone que se puede establecer el comportamiento del termopar como una relación lineal dentro de su rango de operación, esto se aprecia en la figura 2.41.

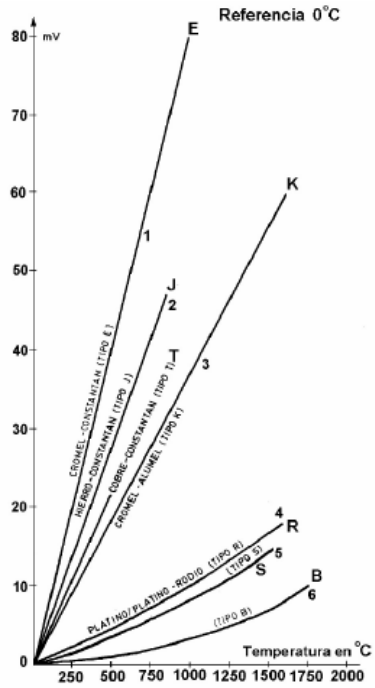


Figura 2.41. Curva característica de termopares. Tomado de [25].

2.2.1.3 El circuito integrado MAX 31855.

Con la ayuda del MAX 31855 se puede realizar la lectura, transformación, compensación y digitalización de la juntura fría de un termopar tipo J, K, N, E o T. Los datos de salida son transferidos a través de comunicación SPI de 14 bits hacia el microcontrolador en un formato de sólo lectura, para un termopar tipo J, la resolución de la conversión es de 0.25°C y permite lecturas desde -40°C hasta 700 °C y tiene una precisión del ±2°C en todo el rango de medición, es capaz de detectar la apertura del termopar, o desconexión del mismo.

Este circuito integrado contiene el hardware para adaptar la señal de voltaje proveniente del termopar con la entrada para los canales del ADC de este circuito integrado, según se muestra en la figura 2.42. Los terminales T+ y T- se conectan al circuito interno para reducir la introducción de ruido desde los cables del termopar.

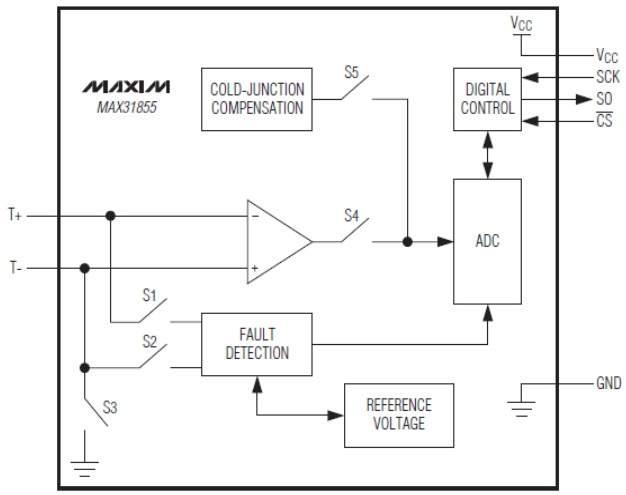


Figura 2.42. Diagrama de bloques. Tomado de [26].

Antes de convertir el voltaje del termopar en el valor de temperatura equivalente, es necesario compensar la diferencia entre la juntura fría del termopar (temperatura ambiente del dispositivo) y la referencia virtual a 0°C.

Para el termopar tipo J el voltaje cambia alrededor de 56 µV/°C, con lo cual se puede aproximar el comportamiento de la termopar con la ecuación lineal 2.21.

$$V_{OUT} = (55.953uV) * (T_R - T_{AMB}) \qquad (2.21.)$$

Donde V_{OUT}, es el voltaje de salida del termopar en (µV) y T_R, la temperatura de la juntura del termopar en (°C) y T_{AMB} es la temperatura del dispositivo en (°C).

Para el caso concreto del termopar tipo J la linealidad se da entre los 0°C hasta los 750°C por lo que la operación apropiada de este integrado está asegurada.

La función del termopar es la de medir la diferencia de temperatura entre sus terminales, es decir entre los terminales que se aplican al proceso y la temperatura a la cual se encuentra los terminales libres que normalmente es la temperatura ambiente o juntura fría, esta puede oscilar entre los -55°C hasta los 125°C, como se puede notar la lectura del termopar no se establece frente a una referencia de 0°C si no que la referencia es la temperatura ambiente, lo cual genera error, debido al diferencial térmico existente.

En la figura 2.43 se observa el encapsulado de este circuito integrado, el mismo es de tamaño SMD, su forma de conexión al microcontrolador se puede observar en la figura 2.48.

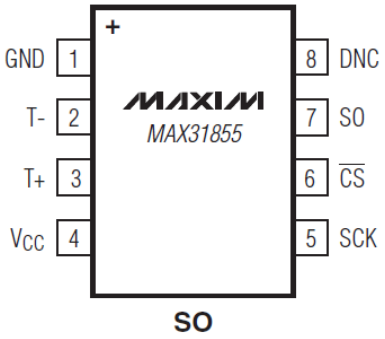


Figura 2.43. Descripción de pines. Tomado de [26].

Este dispositivo es capaz de compensar esta diferencia de temperatura, esto lo realiza midiendo primero la temperatura interna del dispositivo. Luego mide el voltaje entre la salida del termopar y la juntura de referencia y convierte este valor de la temperatura no compensada. Este valor es luego sumado a la temperatura del dispositivo para calcular la temperatura de la juntura caliente.

2.2.1.4 Fototransistor.

Figura 2.44. Fototransistor. Tomado de [27].

El fototransistor mostrado en la figura 2.44 puede ser empleado como un detector de flama, la temperatura de funcionamiento del sensor está en un rango comprendido entre los -25°C hasta los 85°C, es importante mantener una distancia adecuada entre la fuente de la flama y el sensor, a fin de evitar daños en el dispositivo.

Especificaciones:

Tabla 2.6. Características del sensor de flama. Tomado de [27].

Voltaje alimentación	3.3 V A 5 V.
Rango de detección	20 cm (4.8 V) – 100 cm (1 V)
Ancho de banda	760 nm -1100 nm
Tiempo de respuesta	15 us.
Interface	Análoga

En la figura 2.45 se aprecia, la curva de respuesta del sensor, toda vez que es alimentado con 5 V. entre la base y el colector y se mantiene una temperatura ambiente de 25°C.

Esta respuesta del sensor, se aprovecha a fin de generar una variación de voltaje en función de la radiación medida por el mismo, a continuación en la figura 2.46 se muestra el detalle del circuito de acondicionamiento que acompaña al sensor en mención, en este caso emplea un detector de flama, dado que el circuito de acondicionamiento emplea tres amplificadores operacionales, el LM 358, dos de los cuales realizan la amplificación de la señal recibida por el sensor ya que la

misma es de apenas unos cuantos mili voltios, el tercer amplificador operacional es utilizado como comparador, el nivel de voltaje a ser comparado provienen de la etapa amplificadora y de una referencia dada por el potenciómetro RV3, comprendida entre 0 y 12 VDC.

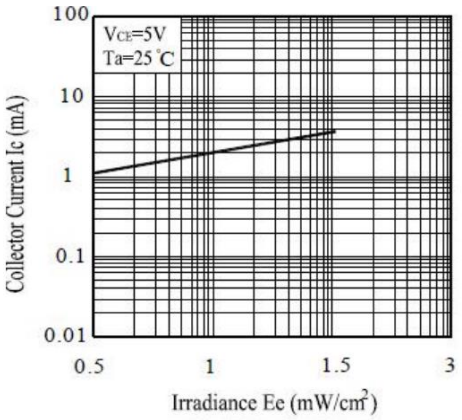


Figura 2.45. Curva de comportamiento. Tomado de [27].

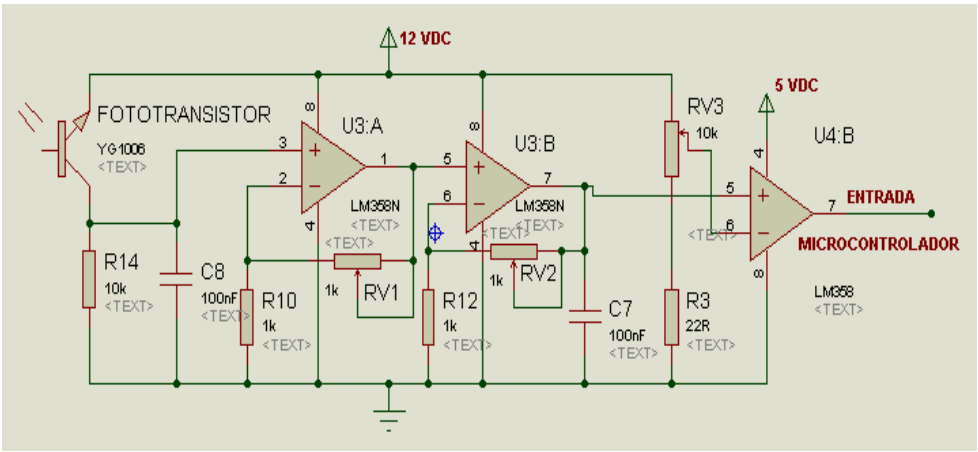


Figura 2.46. Circuito de acondicionamiento de sensor de flama.

El pin 7 del LM 358 corresponde a la salida del circuito de acondicionamiento, el cual se conecta a un pin del microcontrolador PIC18F4620, que se configuró como una entrada análoga.

A continuación se muestra el proceso de cálculo para la etapa de amplificación, para lo cual es importante determinar el voltaje de entrada en las condiciones de presencia de llama y ausencia de la misma, estos datos se extrajeron de manera práctica y son los siguientes:

$$V_{in} = 3\ mV \qquad \text{sin } llama.$$

$$V_{in} = 9,6\ mV \quad con\ llama.$$

Como se explicó en el apartado anterior, el voltaje de salida será llevado hasta un comparador, en donde, de acuerdo a lo mostrado en el diagrama del circuito de la figura 2.46 es alimentado con 12 VDC, de modo que se establece el voltaje a la salida de la etapa de amplificadora en 10 VDC, cuando existe presencia de llama, de ahí se debe elevar el voltaje desde los 9.4 mV hasta los 10 VDC, con lo cual la ganancia de voltaje se establece en la ecuación 2.22.

$$A_{VT} = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{10\ V}{9.4\ mV} = 1041.67 \qquad (2.22.)$$

Se establece una ganancia de 1000, por lo cual se emplea dos etapas, ya que esta ganancia es elevada:

$$A_{VT} = A_{V1} * A_{V2} = 20 *\ 50 = 1000 \qquad (2.23.)$$

De donde se desprende:

$$A_{V1} = 20\ y\ A_{V2} = 50$$

La configuración del amplificador operacional corresponde al de un no inversor, el valor de las resistencias para obtener la ganancia deseada, se determina mediante la ecuación 2.24:

$$A_{V1} = 1 + \frac{R_{V1}}{R_{10}} \qquad (2.24.)$$

Se establece R_{10} de 1 KΩ, queda por determinar el valor de $R_{V1.}$

Despejando de la ecuación 2.24, se tiene que:

$$R_{V1} = (A_{V1} - 1) * R_{10}$$

Reemplazando, se tiene:

$$R_{V1} = (20 - 1) * 1K\Omega$$

$$R_{V1} = 19K\Omega$$

Se escoge un potenciómetro de 100 KΩ.

De igual manera se procede para la determinación del valor de $R_{V2,}$ de donde se determina que:

$$R_{V2} = 49K\Omega$$

Se escoge un potenciómetro de 250 KΩ.

Por facilidad de calibración se emplea potenciómetros de precisión regulados a los valores de resistencia calculados, para el comparador de voltaje resuelto con el amplificador operacional U4:B, según la figura 2.40, se conoce que cuando el voltaje en su entrada no invertida es mayor al de su entrada invertida (referencia), se obtendrá a la salida el valor de VCC, caso contrario el voltaje será 0 VDC, con esto en mente se determina como voltaje de referencia 8 VDC, de acuerdo a las pruebas realizadas se muestra un buen desempeño con este voltaje de referencia.

2.2.1.5 Quemador.

Es un dispositivo que permite la reacción de combustión entre el combustible y el comburente de manera controlada, el mismo se lo aprecia en la figura 2.47.

Es decir el dispositivo permite asegurar la aportación adecuada de ambos para conseguir la potencia calórica especificada, y distribuyendo la zona de reacción (llama) y la circulación de los productos de combustión de modo que se transfiera a la carga de manera eficiente el calor producido.

Figura 2.47. Quemador a gas. Tomado de [28].

2.2.1.6 Selección del microcontrolador.

Para el proceso de horneo, se necesita un microcontrolador que cumpla con requerimientos similares que para la cámara de leudo, que se abordó en un apartado anterior, sin embargo de esto es importante determinar la cantidad de pines necesarios en este caso, lo cual se detalla a continuación:

Tabla 2.7. Determinación de pines necesarios.

PERIFERICOS		PINES DEL MICROCONTRO	
Cantidad	Descripción	Entradas	Salidas
2	Sensor digital	2	
1	Sensor de temperatura	3	
1	Cristal externo	2	
1	LCD		7
9	Pulsadores	9	
2	Comunicación I^2C	1	1
6	Salidas a relé (sistema de control)		6
1	Sensor de llama	1	
		18	14
TOTAL			**32 pines**

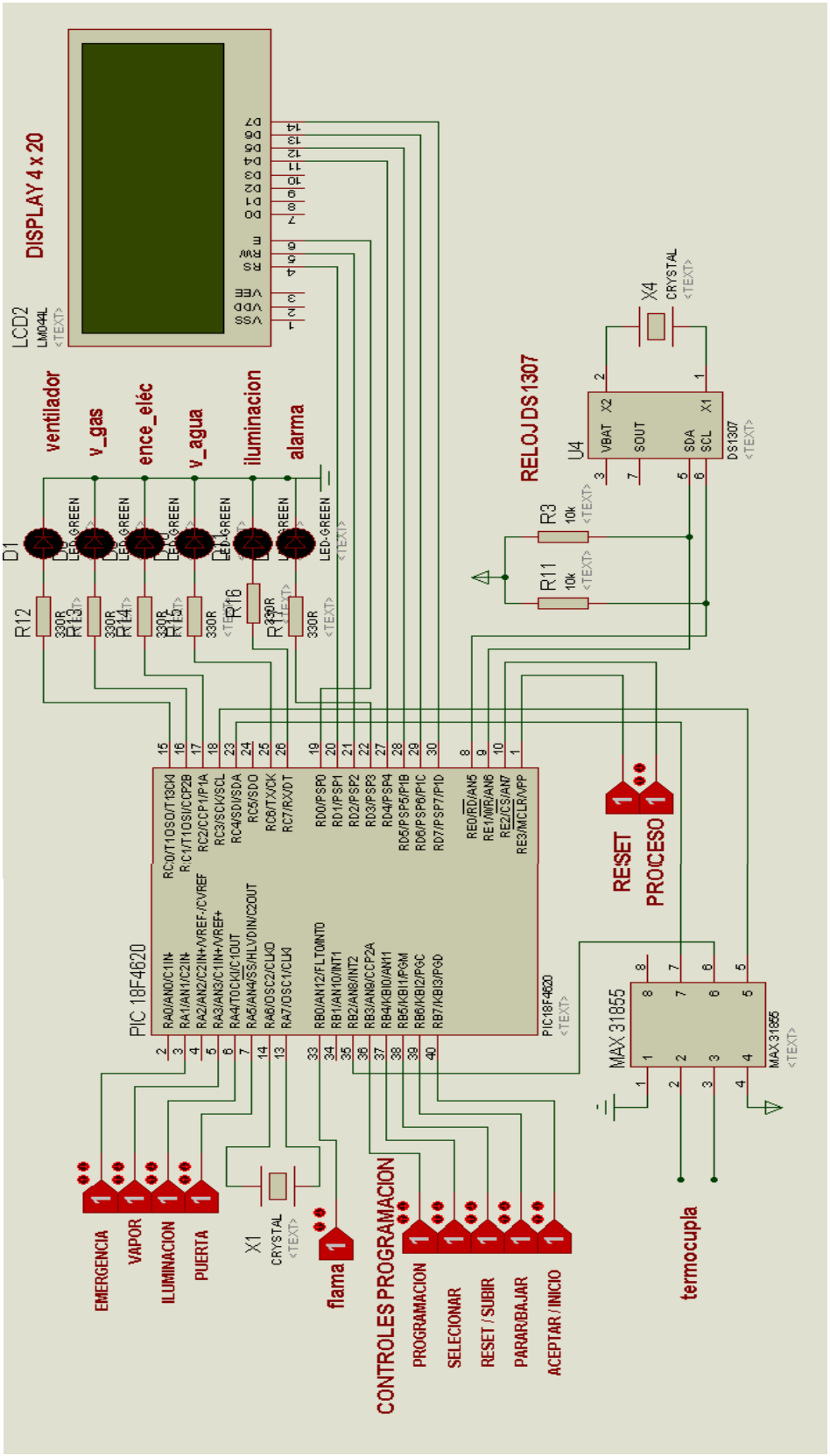


Figura 2.48. Diagrama de circuito implementado.

De acuerdo a lo mostrado en la tabla 2.7, se hace necesario disponer de un microcontrolador con 32 entradas y salidas, ahora considerando la selección que se realizó para la cámara de leudo, se escoge nuevamente al PIC 18F4620, el cual ya se lo abordó anteriormente, en la figura 2.48 se observa el diagrama del circuito implementado en la placa de control electrónico que gobierna el proceso de horneo

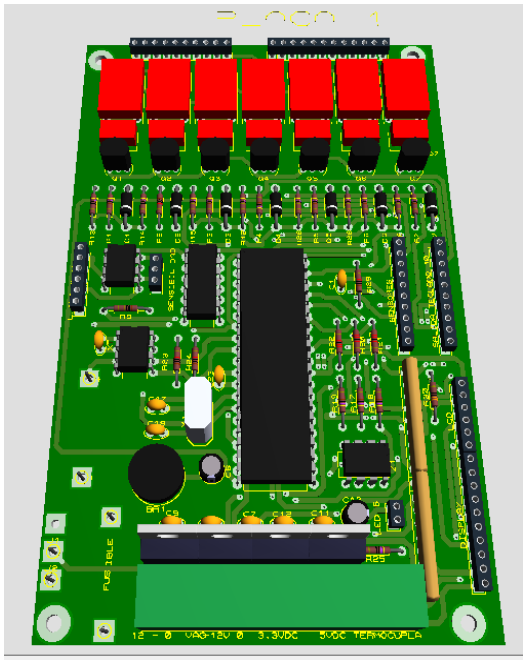


Figura 2.49. Vista en 3D de la placa.

En la figura 2.49 respectivamente se aprecia una vista de cómo quedaría una vez construido la placa electrónica.

2.2.2 DIMENSIONAMIENTO DE RELÉS Y CONTACTORES.

Las consideraciones que se toman en cuenta para la selección de los contactores y de los relés son las mismas que para la cámara de leudo, por lo que no se mencionaran.

Como criterio de seguridad se considera un sobre dimensionamiento del 125% de la potencia nominal de la carga seleccionada.

Cabe resaltar que para el motor del ventilador se instaló también una protección térmica de 5 a 10 Amps, que se reguló a un 110% del valor nominal de la carga, es decir, 3.8 Amps.

Tabla 2.8. Dimensionamiento de elementos de control

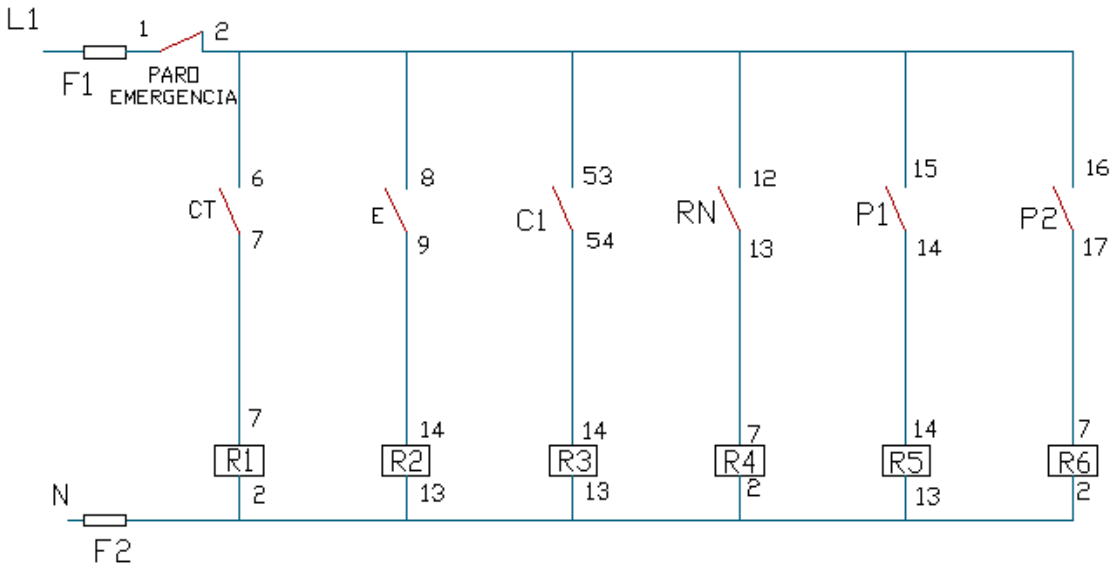
DATOS DE CARGA					ELEMENTO DE CONTROL			
Equipo	Potencia nominal (W)	Voltaje Nominal (VAC)	Corriente Nominal (A)	Categoria de servicio	Voltaje bobina (VAC)	Elemento de control	Corriente nominal (A)	Número de contactos
Motor ventilador	373	110	3,39	AC 3	110	Contactor	25	3 N.O.
Encendedor eléctrico	200	110	1,82	AC 1	110	Relé	10	3 N.O.
Electroválvula de gas	5,5	110	0,05	AC 3	110	Relé	5	3 N.O.
Electroválvula de agua	5,5	110	0,05	AC 3	110	Relé	5	3 N.O.
Iluminación	110	110	1,00	AC 1	110	Relé	5	3 N.O.
Alarma	10	110	0,09	AC 1	110	Relé	5	3 N.O.

En la tabla 2.8 se muestra el dimensionamiento de todos los relés y contactores que forman parte del circuito de fuerza del horno de pan.

2.2.2 DIAGRAMAS ELÉCTRICOS Y DE CONEXIÓN.

2.2.2.1 Diagramas eléctricos y de control.

En la figura 2.50 y en la figura 2.51 se muestra el diagrama eléctrico de fuerza y control que gobierna el accionamiento de los diferentes dispositivos, al igual que en el caso de la cámara de leudo, es importante disponer del mismo en caso de daño o avería, este permitirá ubicar el daño de forma rápida.



DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS	
R1:	MOTOR VENTILADOR
R2:	ENCENDEDOR ELÉCTRICO
R3:	ELECTROVALVULA DE GAS
R4:	ELECTROVALVUL ADE AGUA
R5:	ILUMINACIÓN
R6:	ALARMA

Figura 2.50. Diagrama de control.

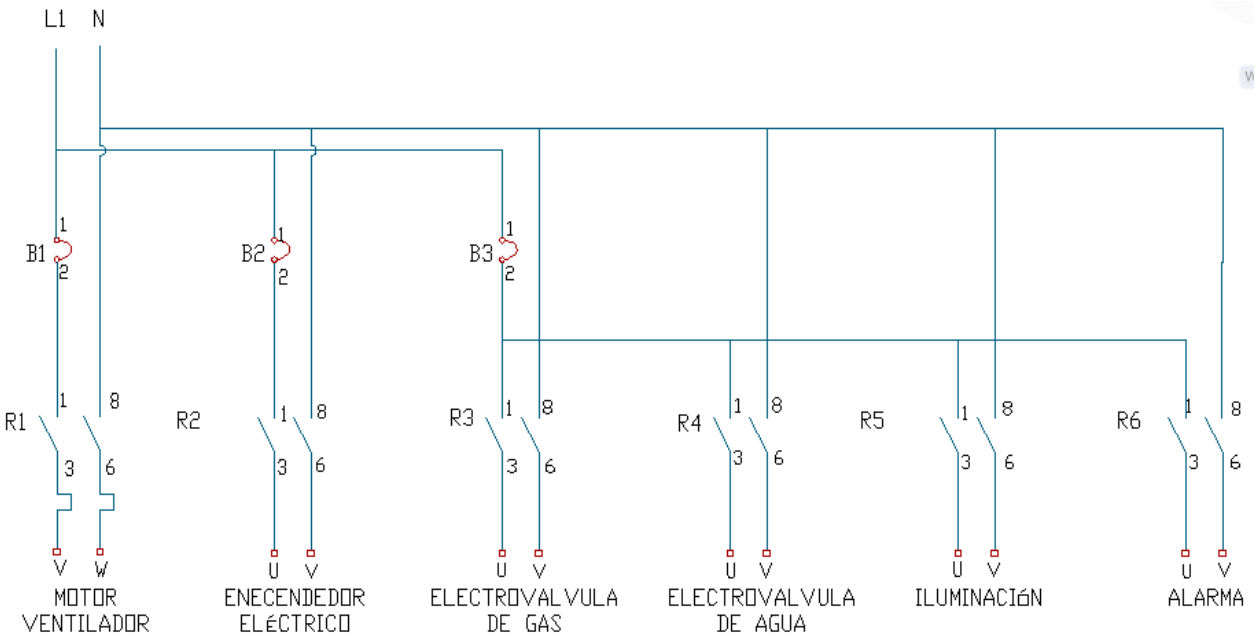


Figura 2.51. Diagrama de fuerza.

2.2.2.2 Diagramas de conexión.

En la figura 2.52 se observa el diagrama de conexión de la placa de control electrónico del horno, hacia sus dispositivos externos tales como el sensor de llama, el de temperatura y otros, así también como el teclado y la pantalla. A partir de aquí se trasladará mediante cableado hacia cada uno de los dispositivos.

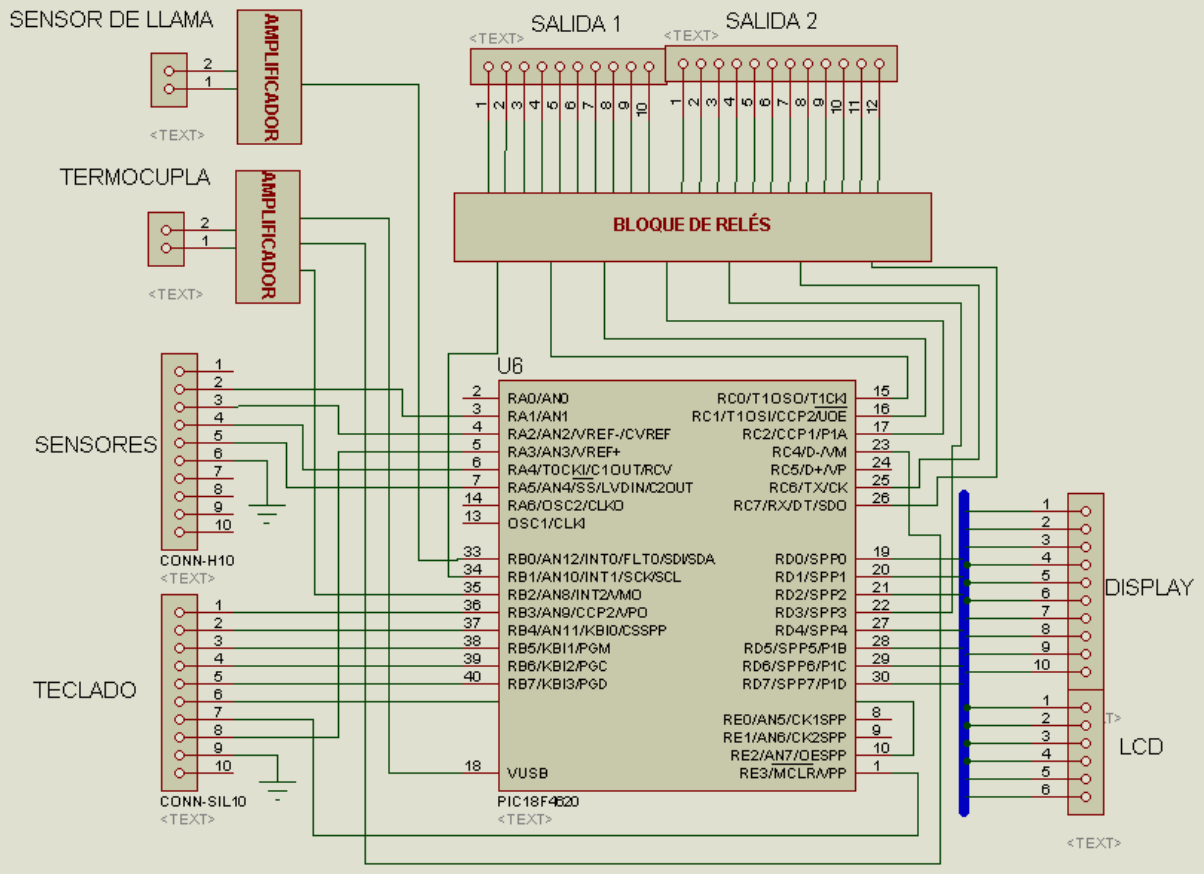


Figura 2.52. Diagrama de conexiones placa electrónica.

2.2.2.2.1 Fuente de alimentación.

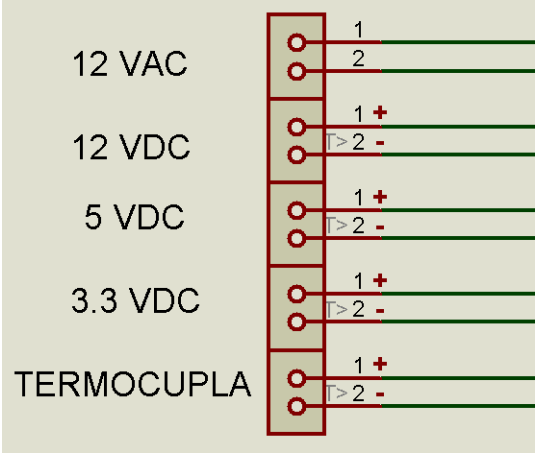


Figura 2.53. Borneras de conexión fuente de alimentación y termopar.

En la figura 2.53, se muestra las borneras de conexión para la alimentación del circuito de control electrónico, el transformador de 110 VAC a 12 VAC se ha de conectar hacia los bornes marcados como 12 VAC, las demás borneras se utilizan con el propósito de alimentar con voltaje hacia circuitos externos si fuese necesario, la bornera del termopar es donde se ha de conectar los terminales del sensor de temperatura.

2.2.2.2.1 Diagrama de conexiones para sensores.

En la figura 2.54 se aprecia el diagrama de conexiones entre los sensores de emergencia y de la puerta, se disponen de dos borneras adicionales que tienen el nombre de extra 1 y extra 2 respectivamente, en caso de una posible extensión,

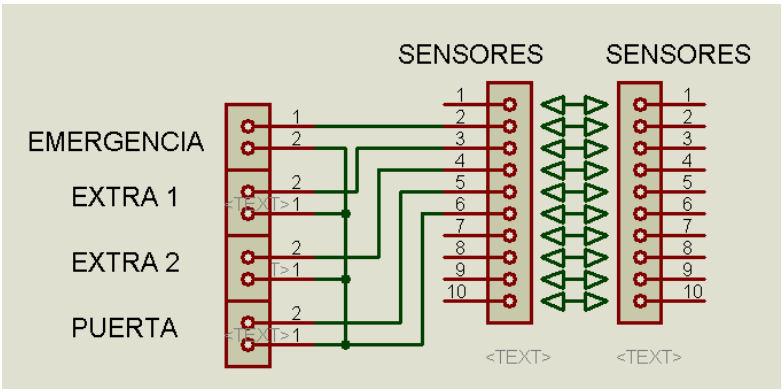


Figura 2.54. Diagrama de conexión de sensores.

2.2.2.2.2 Teclado.

En la figura 2.55, se observa las conexiones entre la placa electrónica de control y la placa de conexión para el teclado.

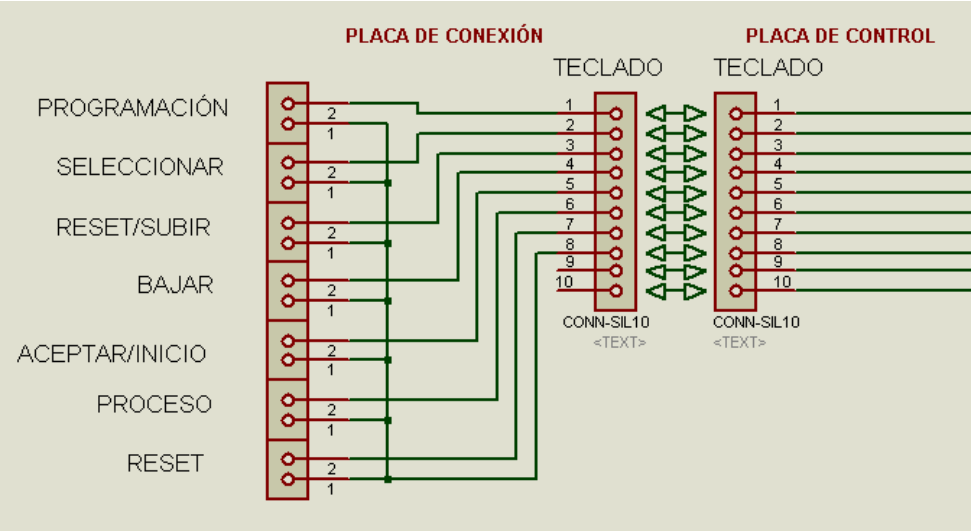


Figura 2.55. Diagrama de conexiones para teclado.

2.2.2.2.3 Salida a relés.

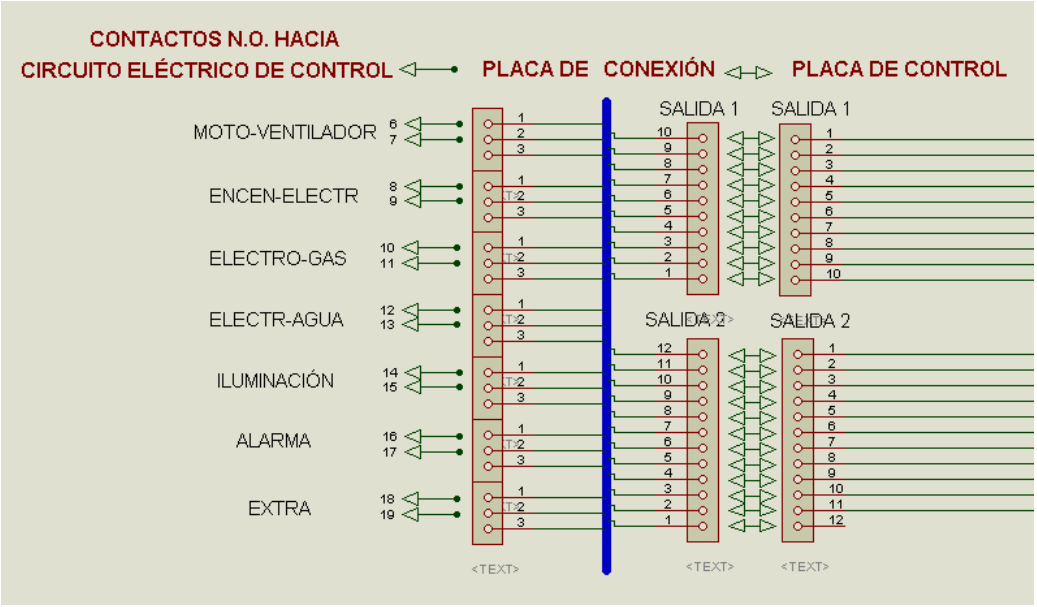


Figura. 2.56. Diagrama de conexión desde la placa electrónica de control hacia circuito eléctrico de control.

En la siguiente figura 2.56 se observa el diagrama de conexiones desde el circuito electrónico de control hacia la placa de conexiones que no son mas que borneras que ponen a disposición del instalador los terminales N.O. COM y N.C. de cada uno de los relés de la placa electrónica de control los mismos que han de ser considerados en el circuito eléctrico de control que aparace en la figura 2.50.

2.2.2.2.4 Display LCD.

En la siguiente figura 2.57 se observa el diagrama de conexiones que se necesita establecer a fin de realizar el cableado del display lcd 4x20.

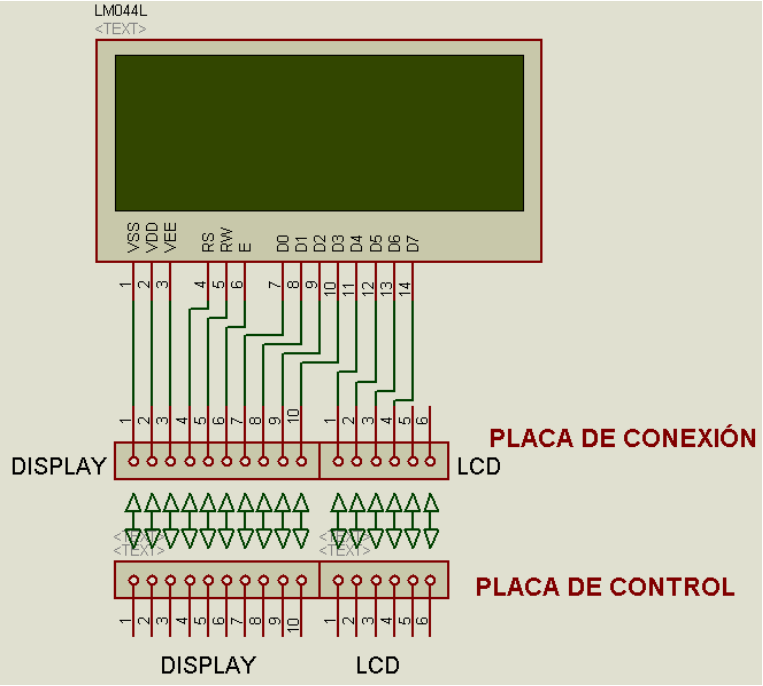


Figura. 2.57. Diagrama de conexiones del display LCD.

CAPÍTULO 3.
DISEÑO DEL ALGORITMO DE CONTROL MICROPROCESADO.

En este capítulo se describe el procedimiento llevado a cabo para la elaboración del algoritmo de control de los dos sistemas tratados en el presente trabajo, se determinará mediante diagramas de flujo el comportamiento de los mismos durante los procesos de programación de parámetros y puesta en marcha de los equipos elaborados, también se realiza una breve reseña del software empleado para la elaboración del programa, así como las herramientas de simulación empleadas durante el proyecto.

3.1 HERRAMIENTAS DE PROGRAMACIÓN Y SIMULACIÓN.

3.1.1 COMPILADOR CCS C.

Para la programación del algoritmo de control para la cámara de leudo y para el horno se utilizó el software del fabricante CCS, el cual provee un completo paquete de herramientas para el desarrollo y eliminación de errores en aplicaciones embebidas para los microcontroladores de Microchip.

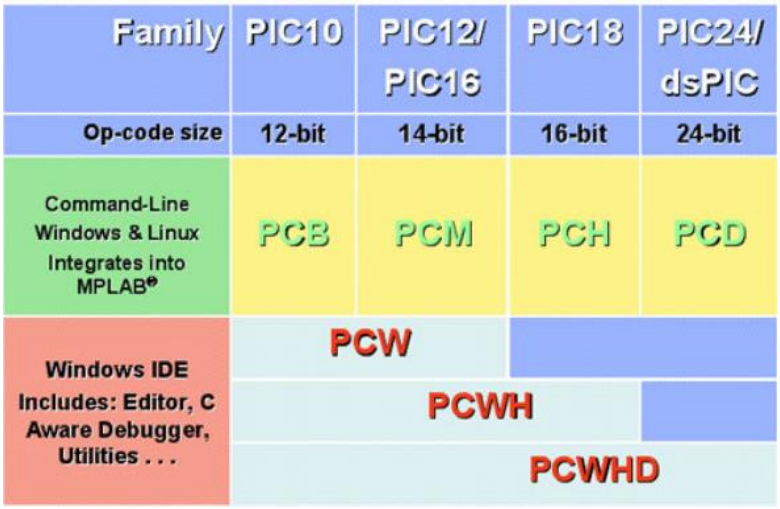


Figura 3.1. Compilador CCS. Tomado de [29]

La gran variedad de ejemplos disponibles con el compilador así como los drivers para los periféricos del microcontrolador permiten a los desarrolladores rápidamente iniciar con los proyectos.

La versión empleada para el desarrollo de esta aplicación es la PCWHD 4.088, que como indica la figura 3.1 abarca un gran abanico de dispositivos desde los básicos como la serie PIC 10 hasta más complejos como los PIC 24 o los DSPIC.

La figura 3.2, muestra el entorno de trabajo del compilador durante el proceso de compilación de un programa.

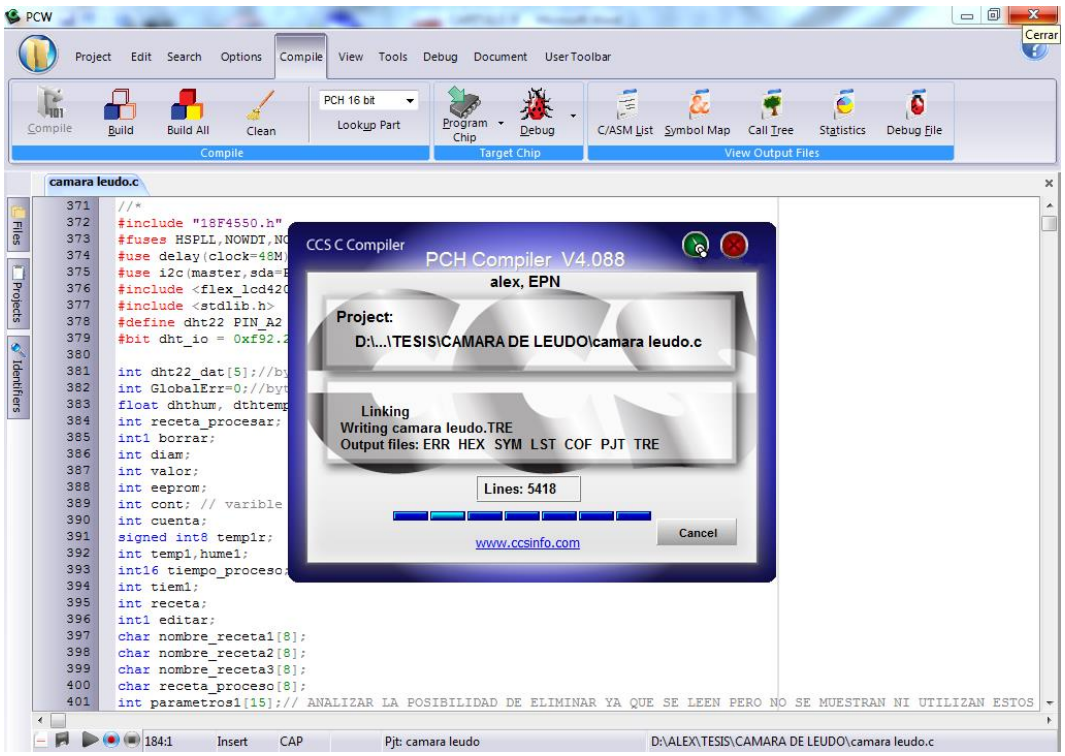


Figura 3.2. Entorno de trabajo compilador PIC-C.

3.1.2 ISIS DE PROTEUS VSM.

ISIS es un potente programa de desarrollo de aplicaciones electrónicas que permite realizar esquemas que pueden ser simulados en el entorno VSM o pasados a un circuito impreso ya que dispone del entorno ARES para el desarrollo y diseño de placas electrónicas.

Posee una amplia colección de librerias de modelos tanto para dibujar, simular o permitir el ruteode placas. Además permite la creación de nuevos componentes, y su modelización para simulación.

El programa ISIS posee un entorno de trabajo formado por distintas barras de herramientas y la ventana de trabajo, según se aprecia en la figura 3.3.

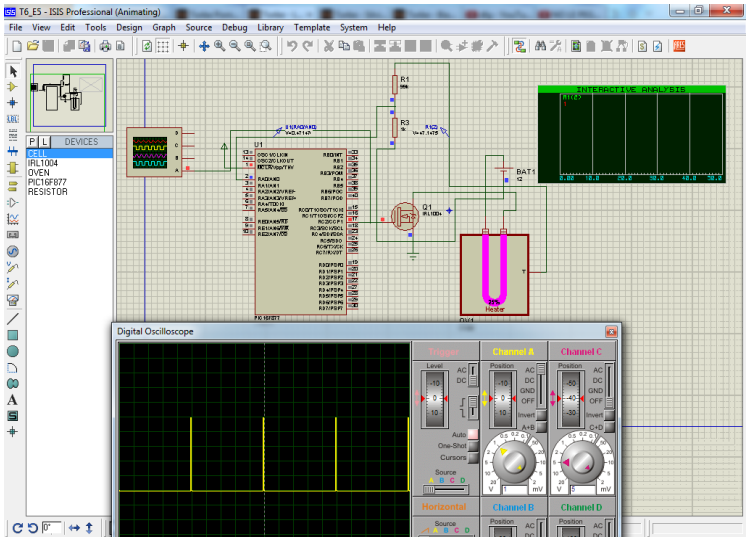


Figura 3.3. Entorno de trabajo ISIS.

La versión empleada para el desarrollo del presente trabajo es la 7.8 sp2, para el ruteo de las placas electrónicas se empleo el ARES del mismo programa Proteus, en la figura 3.4 se puede apreciar el entorno de desarrollo.

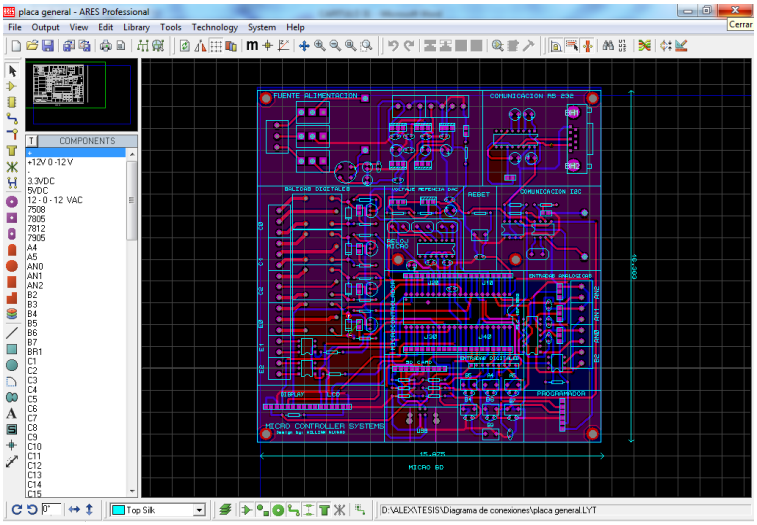


Figura 3.4. Entorno de trabajo ARES.

En la figura 3.5, se puede observar una vista en 3D del diseño final de la placa, la cual da una muy buena percepción de cómo quedaria físicamente una vez construida.

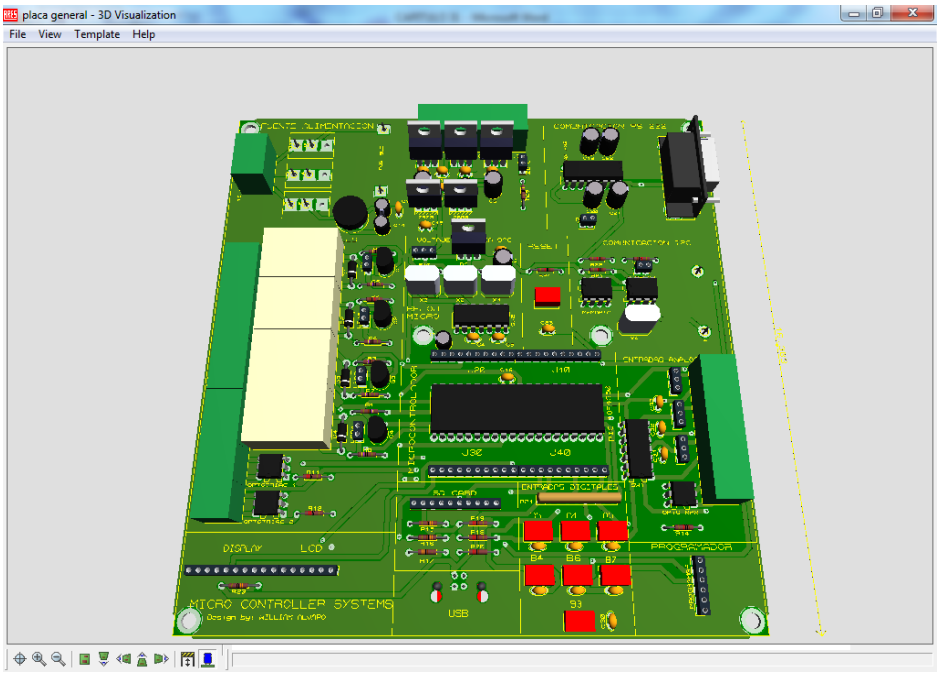


Figura 3.5. Vista en 3D del diseño de placa.

3.2 SISTEMA PARA LEUDADO DE PAN.

3.2.1. CONFIGURACIÓN DE PERIFÉRICOS.

Tal como se mencionó en el capítulo 2, el microcontrolador empleado debe disponer de varios periféricos, los cuales en primera instancia, para el desarrollo de la aplicación, se deben configurar de modo que los mismos operen de forma apropiada. Los aspectos a configurarse son los siguientes:

- Comunicación serial.
- Comunicación I2C.
- Display para mostrar datos.
- Comunicación 1 wire.
- Acceso al sensor de humedad relativa.

- Conversor análogo-digital
- Entradas y salidas digitales.

3.2.2. CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS.

3.2.2.1 Configuración de reloj DS1307.

Para tener acceso al reloj es necesario escribir en el puntero de registros del reloj, la dirección del registro a acceder y luego iniciar la lectura o escritura del registro, cada transferencia debe seguir las normas del protocolo I2C, empezando con un START y terminando con un STOP.

Tras cada lectura o escritura el puntero de registros se incrementa de forma automática en uno para apuntar al siguiente registro, lo cual permite acceder a varios registros secuencialmente por cada transferencia.

En los siguientes diagramas se observa como leer o escribir sobre los registros del RTC de forma individual o en bloques:

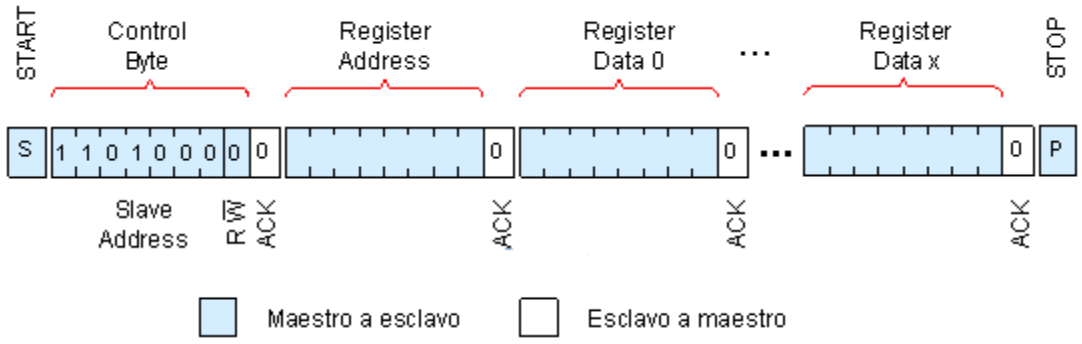


Figura 3.6. Proceso de escritura. Tomado de [30].

Para la secuencia de escritura de uno o de varios registros, los siguientes pasos se han de seguir:

- Enviar una condición de start.
- Enviar el byte de control (dirección de esclavo con R/W=0, para escritura).
- Enviar la dirección del primer (o único) registro a escribir, register address según se muestra en la figura 3.6.

- Escribir uno o tantos registros como se desee, Register Data 0,1, x, según se aprecia en la figura 3.6.
- Enviar una condición de Stop.

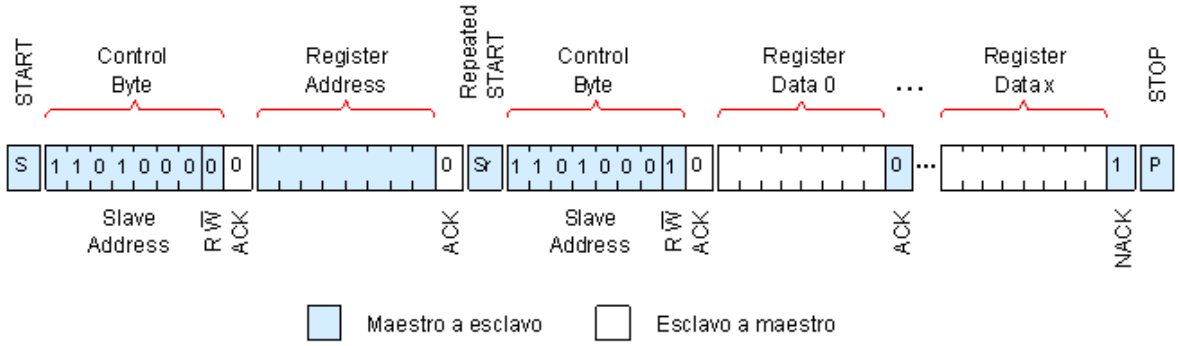


Figura 3.7. Proceso de lectura. Tomado de [30].

Para la secuencia de lectura de uno o de varios registros, los siguientes pasos se han de seguir:

- Enviar una condición de start.
- Enviar el byte de control (dirección de esclavo con R/W=0, para escritura).
- Enviar la dirección del primer (o único) registro a leer, register address en la figura 3.7.
- Enviar una nueva condición de Start.
- Enviar el byte de control (dirección de escavo con R/W=1, para lectura).
- Leer uno o tantos registros como se desee. A cada registro leído se responde con un ACK, excepto al último, al cual se le devuelve un NACK.
- Enviar una condición de Stop.

El sistema diseñado permite la lectura y visualización permanente de los registros del DS 1307, también cuenta con la posibilidad de modificar en línea cualquier registro vía software, de tal forma que se puede actualizar la fecha y hora, o alguno de los registros. La operación más ejecutada es la lectura de los registros para lo cual se sigue la secuencia explicada anteriormente.

Para la ejecución de la configuración o actualización de la fecha y de la hora se ejecuta la lógica de programación, según se observa en la figura 3.8.

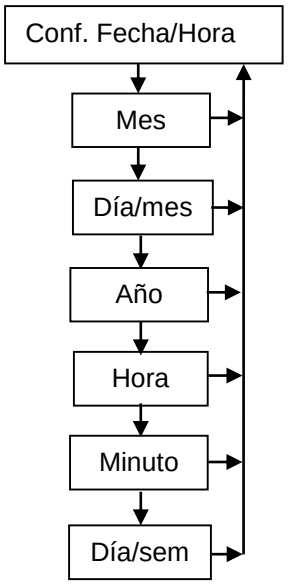


Figura 3.8. Proceso de configuración de fecha y hora.

En el display se muestra una pantalla como la de la figura 3.9, que permitirá conocer en todo momento que registro se modificará, así como el valor que se le asigna, o en su defecto el valor que tiene al momento de iniciar la operación de configuración del reloj DS 1307.

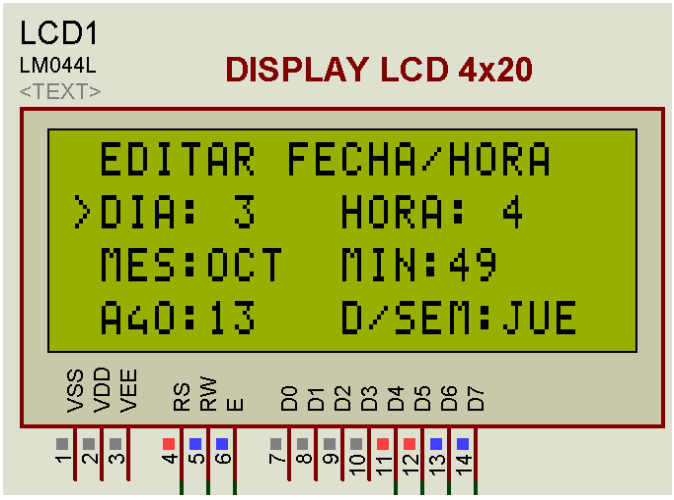


Figura 3.9. Visualización de pantalla.

Dado que los registros tienen diferentes categorías, el software implementado tiene la posibilidad de distinguir claramente cual registro se está modificando, es así, que por ejemplo el registro de minutos puede variar entre 0 y 59, o como el registro de meses puede variar entre enero y diciembre.

3.2.2.2 Descripción del proceso de envío y recepción de los datos en el DHT11.

El microcontrolador envía una señal de inicio y el DHT 11 envía una señal de respuesta al microcontrolador. En estado libre el bus de datos está en nivel alto. Cuando la comunicación se inicia, el microcontrolador lleva al bus a un nivel bajo, lo cual debería durar de entre 1 a 10 ms., para asegurar que el DHT 11 detecte la señal del microcontrolador y luego lo pondrá un nivel alto y esperará por alrededor de 20-40 µs, la respuesta del DHT 11.

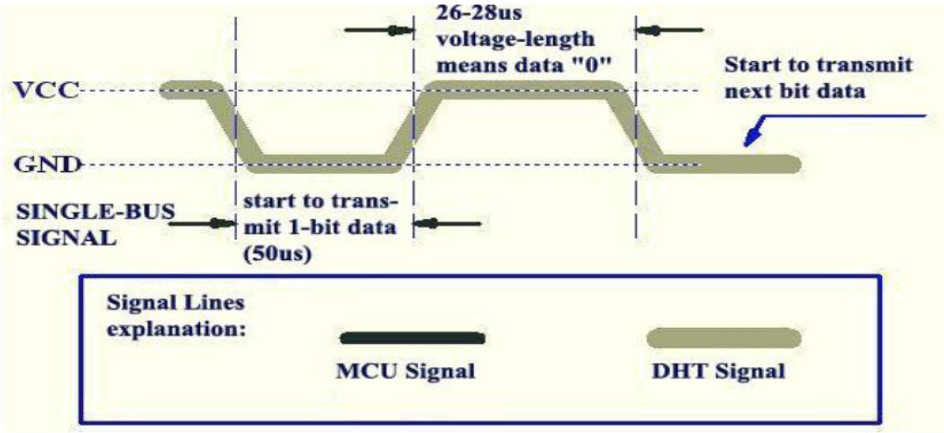


Figura 3.10. Comunicación del DHT 11. Tomado de [16].

Cuando el sensor envía datos al microcontrolador cada bit transmitido comienza con un nivel de voltaje en bajo por al menos 50 µs., la longitud de la siguiente señal en nivel alto, determinara si el bit es “1” o “0”, según se muestra en la figura 3.10 y la figura 3.11 respectivamente.

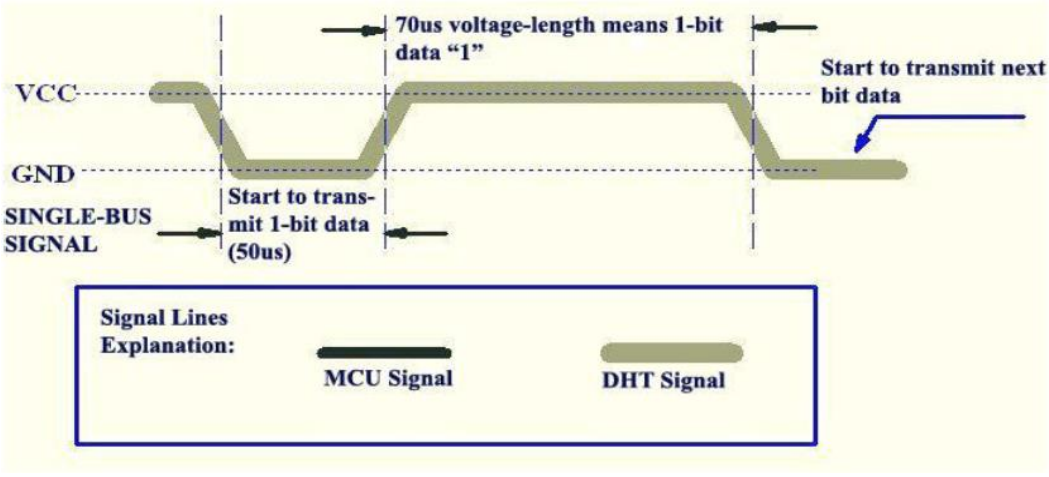


Figura 3.11. Comunicación del DHT 11. Tomado de [16].

3.2.2.3 Distribución de la memoria eeprom.

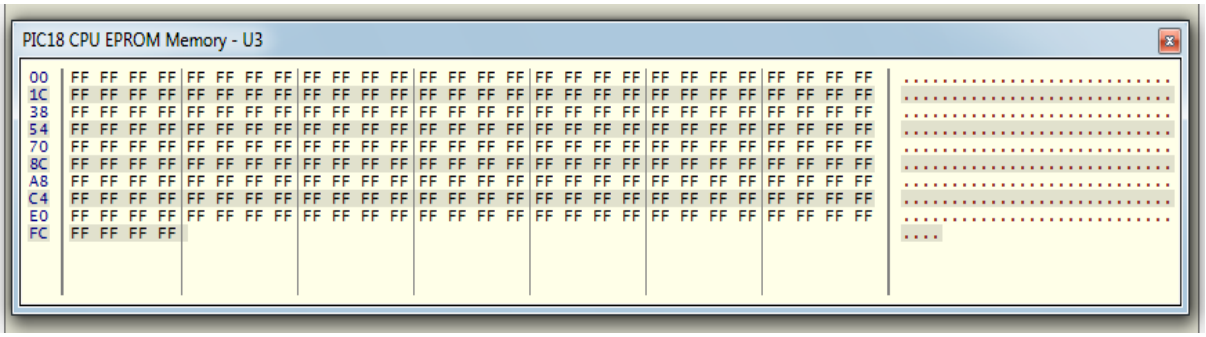


Figura 3.12. Memoria eeprom del PIC18F4620.

Los parámetros del proceso son configurables y almacenables en la memoria eeprom del microcontrolador, la cual se aprecia en la figura 3.12.

Todo el proceso de fermentación controlada del producto, tiene varias etapas y cada una de ellas tiene parámetros configurables de tiempo, de temperatura, y de humedad relativa según sea el caso, todo este conjunto de datos es debidamente ordenado y almacenado en forma de recetas en la memoria eeprom del microcontrolador, de donde cada receta es identificada con un nombre en particular, asignado por el usuario. Los parámetros de cada proceso en una receta, son los que se muestran en la tabla 3.1:

Tabla 3.1. Programación de parámetros en los ciclos de proceso.

CICLO	PARÁMETROS	DESCRIPCIÓN
Refrigeración	- Tiempo - Temperatura	La temperatura de la cámara se configura cercana a los -6 °C. Después de la primera fase de refrigeración el producto se introduce en la cámara.
Conservación	- Temperatura	Durante esta fase la temperatura se configura cercana a los 0 °C; las levaduras se adormecen, manteniendo parada la fermentación. El tiempo no se programa porque es calculado por el microcontrolador automáticamente en función del tiempo del resto de ciclos de proceso.

Pre fermentación 1	- Tiempo - Temperatura - Humedad relativa	La temperatura configurada es de aproximadamente +8 °C y permite el despertar de las levaduras, creando la condiciones para el verdadero proceso de fermentación. La humedad relativa se configura alrededor del 60%.
Pre fermentación 2	- Tiempo - Temperatura - Humedad relativa	Durante esta fase inicia la fermentación de la masa y la temperatura sube hasta aproximadamente + 16 °C, con el fin de permitir la uniformidad de temperatura entre el exterior del producto y su interior. La humedad relativa se configura alrededor del 70 %.
Fermentación	- Tiempo - Temperatura - Humedad relativa	La temperatura de la cámara se configura a + 20 °C, además la humedad relativa cercana al 82 %. Al finalizar esta fase, el producto se encuentra listo para la introducción en el horno de cocción.
Retraso de enhornado	- Tiempo - Temperatura - Humedad relativa	Cuando se alcance la fermentación, se configurará automáticamente esta fase de retraso; la cámara aproximadamente alcanzará los +11°C al 70 % de humedad relativa. De esta forma resulta posible mantener el correcto estado de conservación de la masa, por ejemplo esperando que el horno se encuentre libre para proceder a un nuevo enhornado.

Por lo expuesto en la anterior tabla, se debe mencionar que cada parámetro en cada ciclo de proceso debe ser considerado para almacenar como un dato (byte) en la memoria eeprom del microcontrolador.

La distribución del espacio de memoria eeprom se ha definido así:

- 8 bytes para el nombre de la receta
- 2 bytes para el ciclo de refrigeración, un byte por cada parámetro.
- 1 byte para el ciclo de conservación
- 3 bytes para el ciclo de pre fermentación 1

- 3 bytes para el ciclo de pre fermentación 2
- 3 bytes para el ciclo de fermentación
- 3 bytes para el ciclo de retraso de enhornado.

Debido a que las condiciones del sistema deben procurarse mantener dentro de ciertos rangos de funcionamiento, es importante establecer intervalos de operación, con esta idea se establece un rango de histéresis, dentro del cual un parámetro puede encontrarse, esto se establece para todas las etapas de operación del sistema, en cuanto a temperatura y humedad relativa, de ahí que también los mismos deben ser almacenados en la memoria eeprom, también se considera espacio libre en caso de una posible modificación del programa inicialmente planteado, con esto quedaría así:

- 1 byte histéresis humedad relativa.
- 1 byte histéresis enfriamiento.
- 1 byte histéresis calentamiento
- 2 bytes libres.

De acuerdo a los bytes que emplea cada uno de los parámetros de configuración mencionados en los párrafos anteriores, se establece que el espacio de memoria considerado para cada receta es de 28 bytes, con lo cual en la memoria eeprom del microcontrolador se puede almacenar hasta 36 recetas, ya que el espacio de memoria es de 1 Kbyte, sin embargo se consideró almacenar 9 recetas, tomando en cuenta el hecho de que las diferentes variedades del producto a procesar pueden semejarse mucho en cuanto al proceso llevado a cabo en la cámara de fermentación controlada.

De todos modos en la memoria eeprom, queda disponible aún varios bytes, de los cuales uno se emplea con el propósito de almacenar el último número de receta editado o agregado.

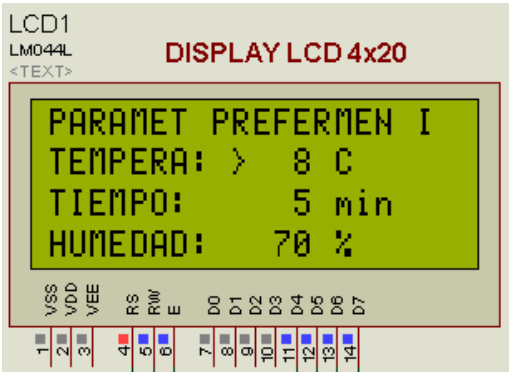


Figura 3.13. Programación parámetros de pre fermentación I.

Existe una marcada diferencia entre agregar y editar recetas, por programación, cuando se selecciona la opción de editar una receta, figura 3.13, se mostrarán los valores que fueron almacenados previamente antes que el usuario pueda modificar dicho valor, mientras que en la opción agregar receta, figura 3.14, los datos almacenados previamente se borran antes de almacenar el valor deseado, por esta razón es importante que el usuario conozca las implicaciones de escoger una u otra opción.

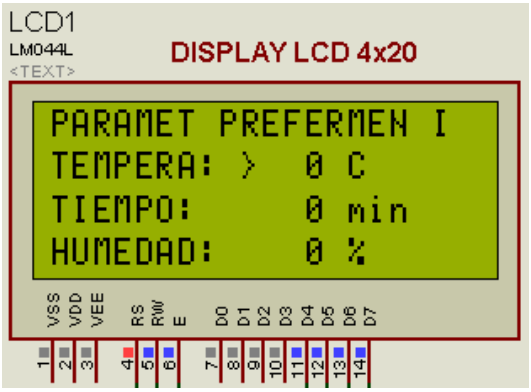


Figura 3.14. Programación parámetros de pre fermentación II.

3.2.2.3 Configuración de parámetros del proceso.

La configuración de los parámetros está relacionado con el almacenamiento de los mismos en la memoria eeprom según la figura 3.15, este apartado tratará la forma como los mismos son configurados.

3.2.2.3.1 Variable tiempo.

Esta variable se ingresa como un número entero, que corresponde a la cantidad de minutos que durará el ciclo de proceso, se configura desde 0 hasta 255 minutos.

3.2.2.3.2 Variable humedad relativa.

Esta variable se ingresa como número entero y corresponde al porcentaje de humedad relativa programada para el proceso, el cual es configurable desde 0% hasta el 100%, sin embargo el proceso como tal difícilmente empleará valores muy bajos de humedad relativa.

3.2.2.3.3 Variable temperatura.

Esta variable se ingresa como un número entero y corresponde al valor programado como temperatura de proceso para cada ciclo de la cámara, dependiendo del ciclo en el que se encuentre puede tener un rango diferente de configuración, entre valores positivos o negativos.

3.2.2.4 Diagrama de flujo general de programación.

En el diagrama de flujo mostrado en la figura 3.15 se aprecia los parámetros de programación que componen una receta, en la figura 3.16 se aprecia el mensaje mostrado en el display previo a ingresar a la programacion de los parámetros.

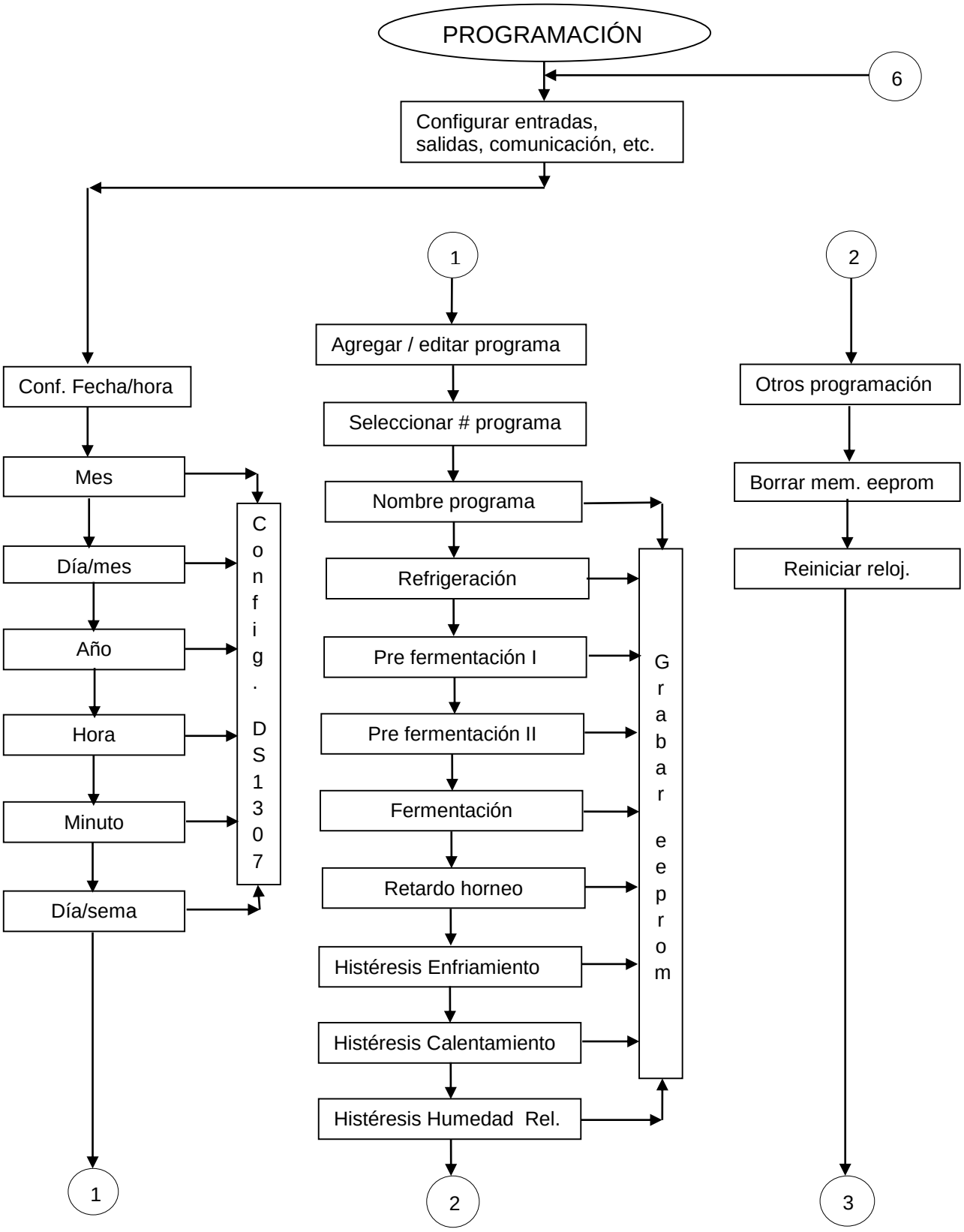


Figura 3.15. Diagrama de flujo**.**

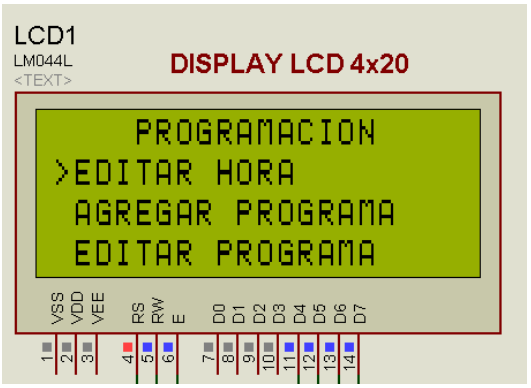


Figura 3.16. Edición de hora.

En las siguientes figuras 3.17, 3.18, y 3.19 respectivamente, se obseva cada uno de los ciclos que componen el proceso seguido por la cámara de leudo a los cuales se puede acceder para su respectiva programación, de cada uno de los parámetros según lo explicado en la tabla 3.1.

Figura 3.17. Selección de programa.

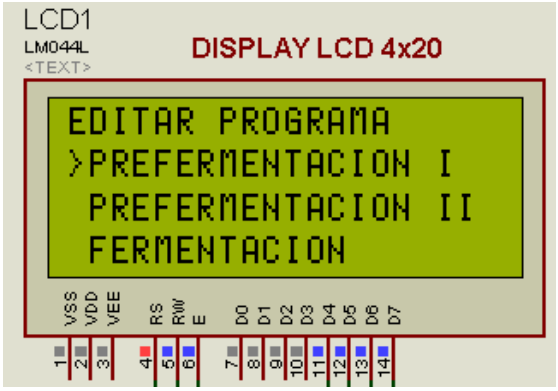


Figura 3.18. Parámetros de programación

Figura 3.19. Parámetros de programación.

Tal como se muestra en el flujograma de programación de los parámetros de las recetas, en la figura 3.21, existe la posibilidad de borrar todos los datos almacenados en la memoria eeprom del microcontrolador, así como la alternativa de reiniciar el reloj, esta última es necesaria sobretodo luego del armado de la placa ya que el reloj al conectarse por primera vez no esta configurado, de ahí que es necesario cargarlo con los valores de fecha y hora adecuados, a partir de ahí el reloj funciona sin problema alguno, en el caso particular de este proyecto la configuracion inicial es la siguiente, el domingo 6 de marzo del 2011, a las 12 horas, 18 minutos y 54 segundos, se escogió una fecha y hora al azar, en las figuras 3.20 y 3.21 respectivamente se puede apreciar lo comentado.

Figura 3.20. Programación de parámetros.

Figura 3.21. Programación de parámetros.

Es importante mencionar que el microcontrolador, como elemento central de control del proceso, dispone de un determinado número de pines que pueden ser usados, por lo cual, los pines destinados para el teclado de acceso a cada uno de los parámetros de programacion, también pueden ser empleados en otras funciones, es así que, por ejemplo el pin destinado a seleccionar una opción cuando se encuentra en el modo de programación, también puede ser empleado para encender la iluminación durante el proceso, esto se logra gracias a la programación realizada, que dependiendo de la tarea que se realice al microcontrolador toma en cuenta la activación o no de un determinado pin para la realización de una determinada tarea, con esto se logra maximizar los recursos disponibles mediante software.

3.2.2.5 Diagrama de flujo del proceso de refrigeración y conservación.

Antes de establecer el algoritmo de control es importante tener en cuenta el proceso de control que se va aplicar al proceso, a fin de establecer los lineamientos de funcionamiento, esto se aprecia en la figura 3.22

Las etapas de refrigeración y conservación dentro del proceso de leudado tienen como función bloquear el proceso de leudado y preservar la integridad del pan que se ingresa a la cámara, para este propósito se sigue el procedimiento descrito a continuación; se ingresa a la memoria eeprom del microcontrolador a fin de leer los parámetros almacenados durante la programación, en estas dos etapas se realiza el control sobre la temperatura, para las etapas posteriores se toma en cuenta la

humedad relativa. Si la temperatura del proceso es menor o igual que la temperatura programada menos la temperatura programada entre dos, el compresor y el ventilador cilíndrico se apagan, ya que no es necesario decrementar más la temperatura, en el caso de que la temperatura del proceso sea mayor o igual a temperatura programada más una ventana de histéresis entre dos, se enciende el compresor y el ventilador cilíndrico al interior de la cámara con lo cual la temperatura empezará a reducirse hasta el valor deseado. Posterior a esto se muestran los valores recogidos por el microontrolador a través del sensor de temperatura, se indica la hora actual de la etapa que se lleva a cabo y el nombre de la receta que se esta procesando, finalmente si el tiempo transcurrido aún no se ha cumplido la rutina se ejecuta de manera continua, caso contrario pasa de forma automática a la siguiente etapa.

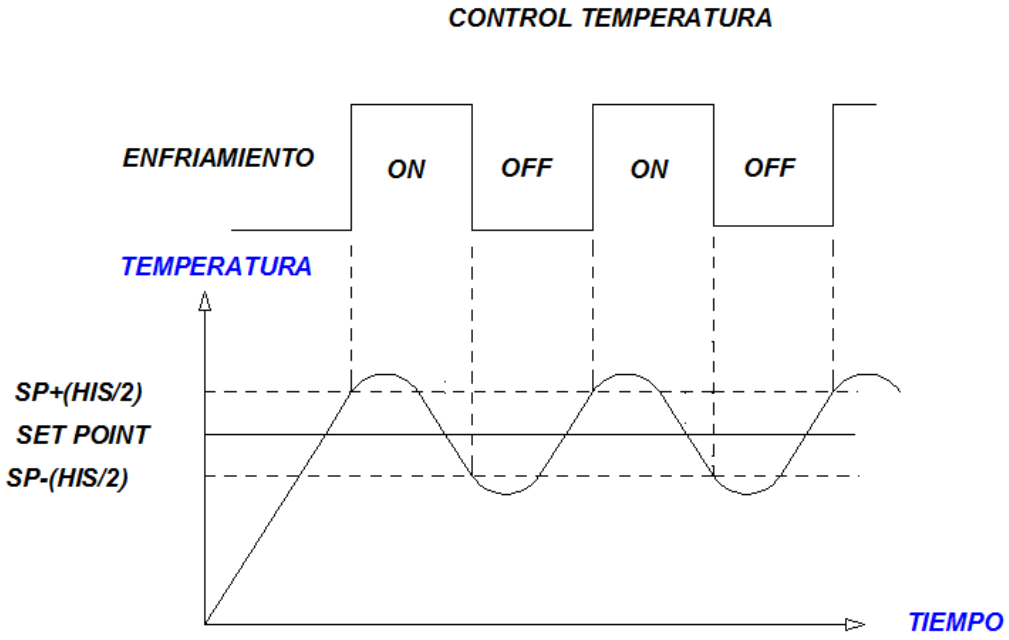


Figura 3.22. Control de temperatura en el tiempo.

Según lo mostrado en la figura 3.23 se aprecia que los primeros procesos llevados a cabo durante el proceso de leudado son muy similares, lo que implica que la variacion tiene lugar en cuanto a los valores de los parámetros programados, así por ejemplo para la temperatura de refrigeración, esta puede programarse entre 0°C y -9°C, el tiempo puede encontarse entre 1 min hasta 255 minutos (4 horas y 15 minutos) figura 3.24, mientras que para el caso de conservación la temperatura

puede estar entre los -3 °C y los 20 °C, el tiempo de este subproceso, tal como se explicó anteriormente dependerá del tiempo global que el usuario decida para el proceso, pero en cualquier caso no menor a una hora, figura 3.25.

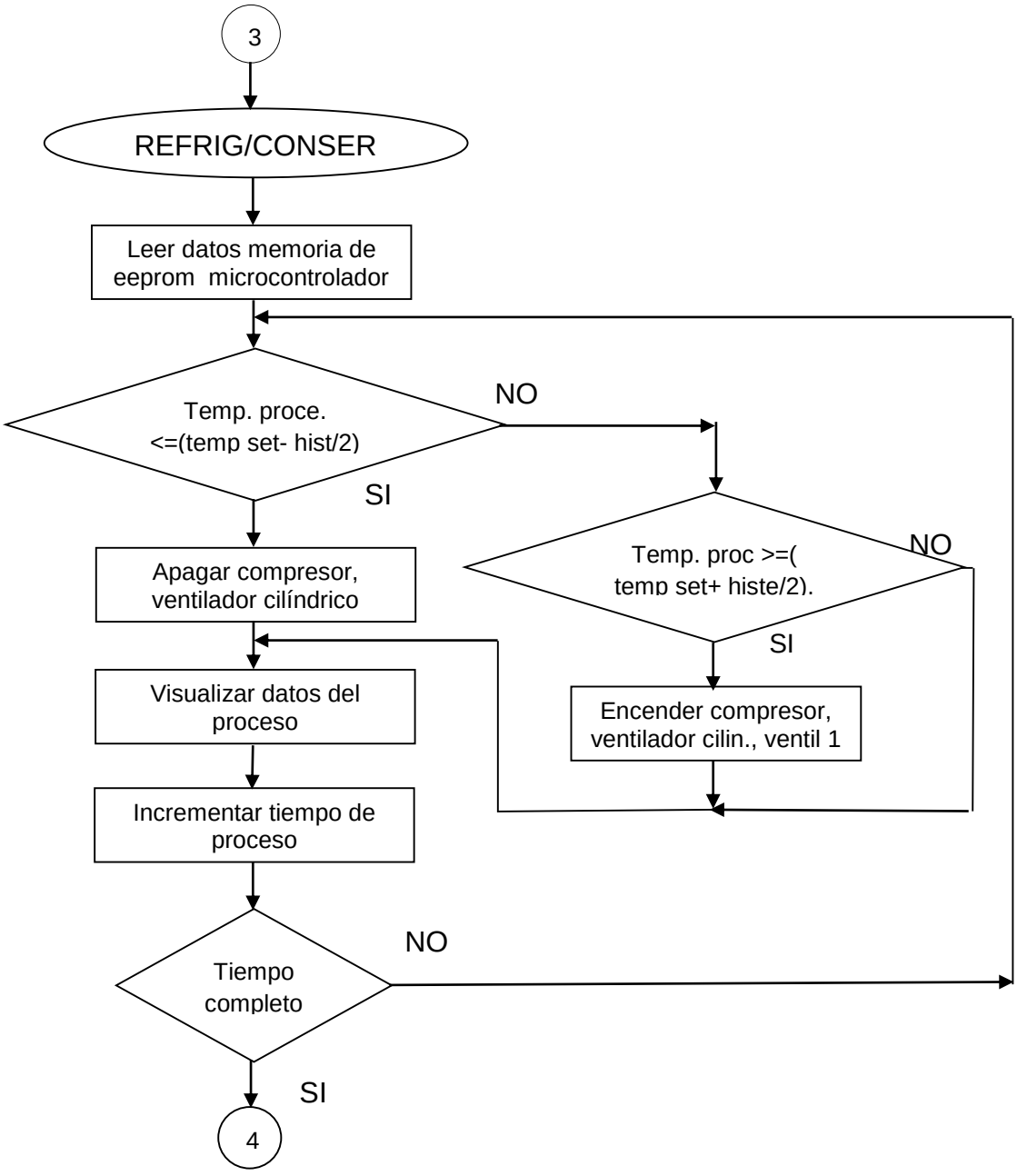


Figura 3.23. Diagrama de flujo.

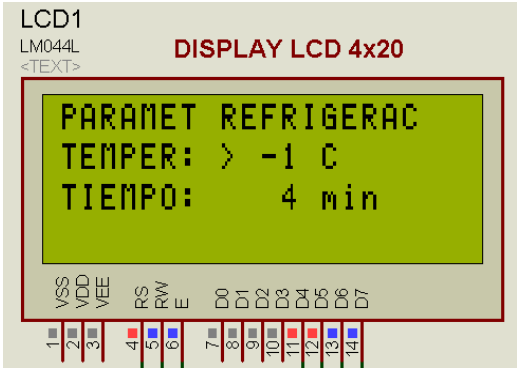


Figura 3.24. Configuración de parámetros de refrigeración.

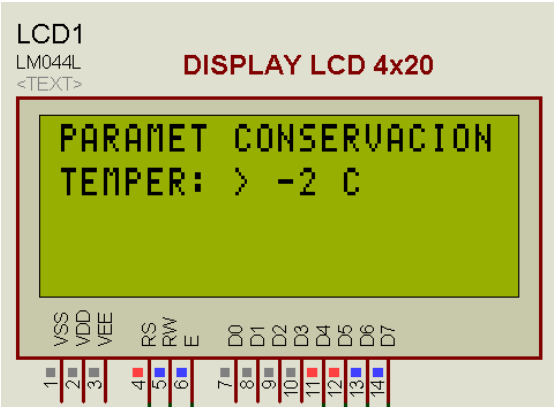


Figura 3.25. Configuración de parámetros de conservación.

3.2.2.6 Diagrama de flujo de los procesos de pre fermentación, fermentación y retardo de horneo.

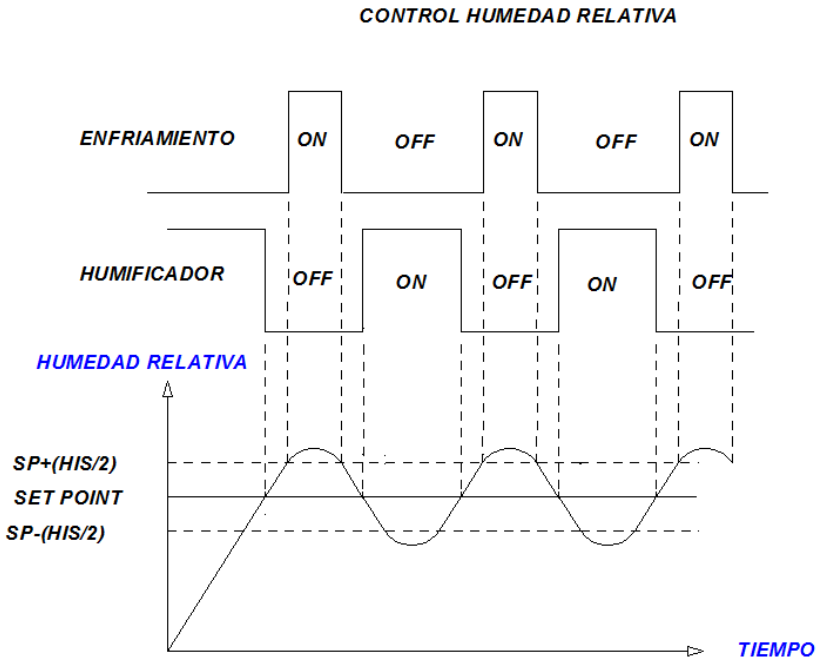


Figura 3.26. Control de humedad relativa en el tiempo.

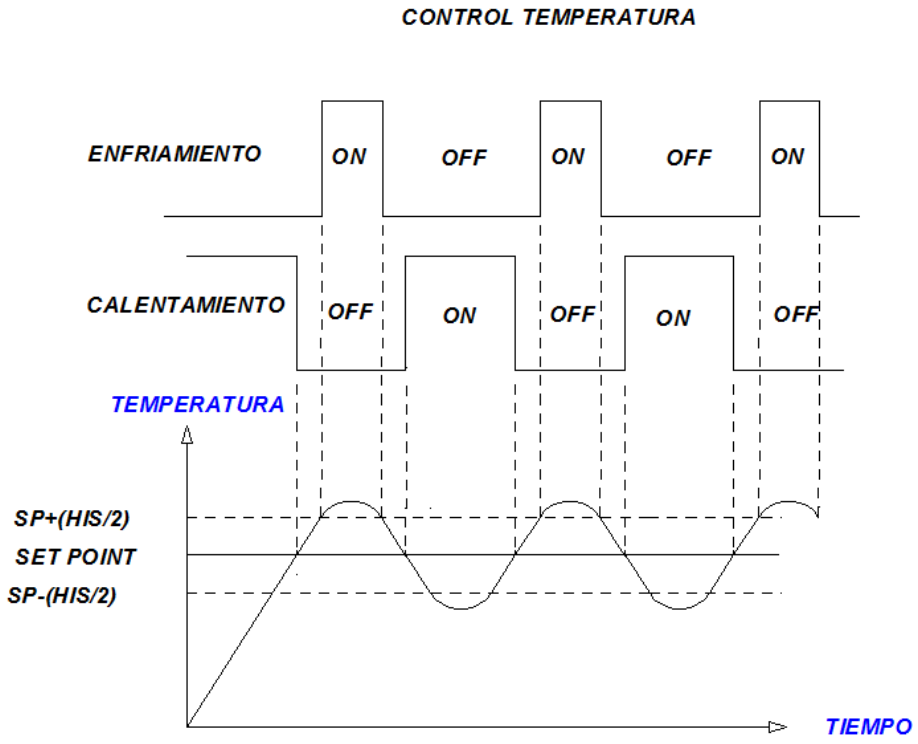


Figura 3.27. Control de temperatura en el tiempo.

En las figuras 3.26 y 3.27 respectivamente, se aprecia el control implementado para la operación de la cámara de leudo en las etapas siguientes, tanto para la temperatura como para la humedad relativa, y los cuales nos servirán de base a fin de elaborar el algoritmo de control que se implementará en el software del equipo.

De acuerdo a lo mostrado en la figura 3.28, los procesos de refrigeración y conservación son muy similares entre sí, el proceso se inicia con la lectura de los datos almacenados en la memoria eeprom del microcontrolador, durante el proceso de programación, para estas etapas se considera un control de humedad relativa y de temperatura.

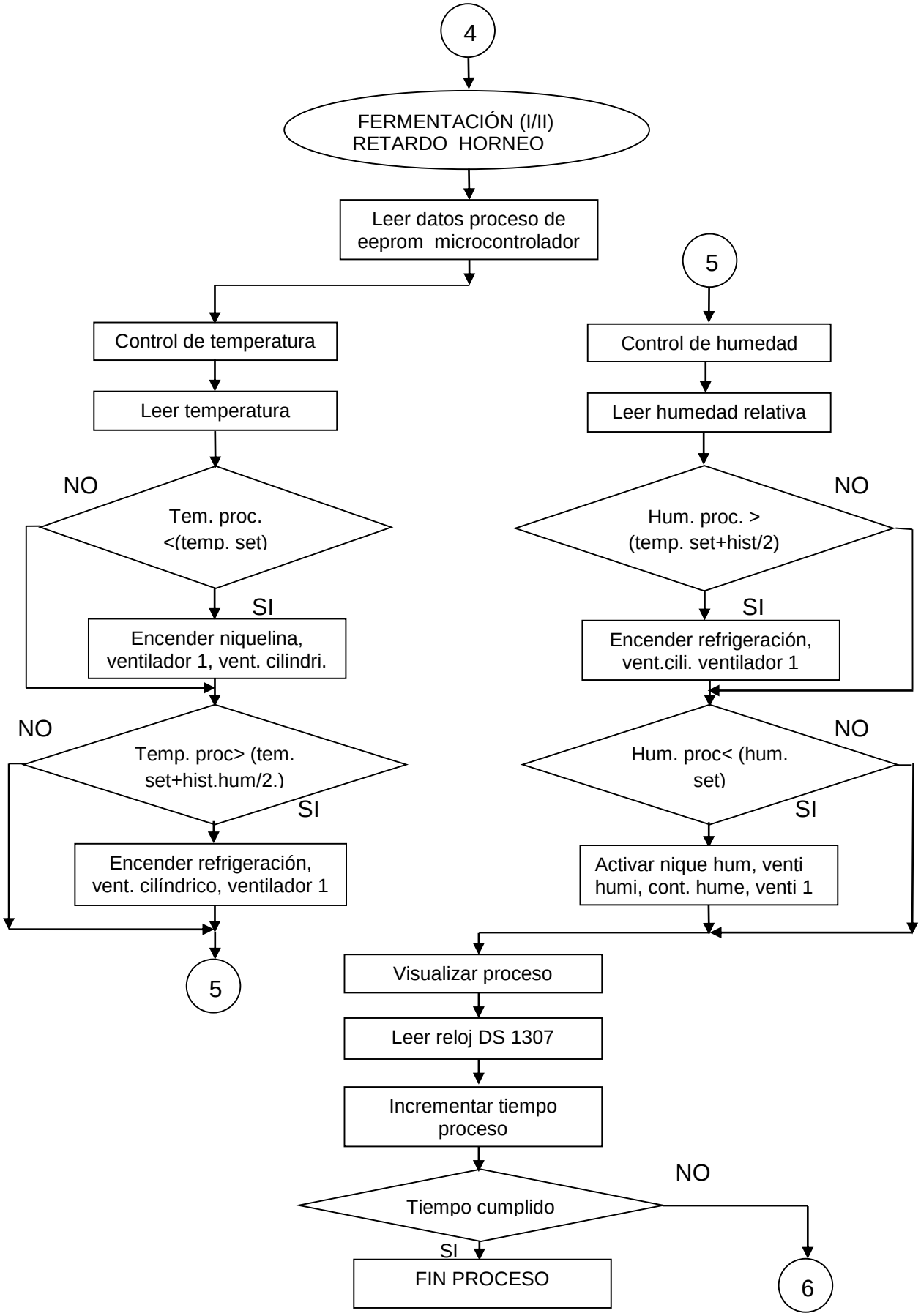


Figura 3.28. Diagrama de flujo de proceso.

El control de temperatura se inicia mediante la lectura a través del conversor análogo digital (CAD) de la temperatura al interior de la cámara, el valor de voltaje tomado por el CAD es transformado a valores de temperatura mediante la aplicación de la ecuación de Steinhart - Hart, la cual se encuentra implementada en el programa cargado al microcontrolador. Si la temperatura del proceso es menor a la temperatura programada, el sistema de refrigeración y el ventilador cilíndrico al interior de la cámara se encenderán, caso contrario se evaluará la siguiente condición que consiste en establecer si la temperatura del proceso es mayor o igual a temperatura configurada más una ventana de histéresis entre dos, si esta condición se cumple entonces se enciende el sistema de refrigeración y el de ventilación.

El control de humedad relativa, se inicia mediante la lectura del sensor de humedad relativa DHT 11, luego se evalúa la condición en la que la humedad del proceso es mayor al valor configurado más la histéresis entre dos, de ser el caso se activa el sistema de refrigeración y el de ventilación, luego se evalúa la siguiente condición que establece si la humedad del proceso es menor que la humedad programada, cuando esto ocurre se activa el sistema de humificación y el de ventilación posterior a esto pasa a mostrar en el display los datos del proceso en marcha, el nombre de la receta, la hora actual y los valores de humedad relativa y de temperatura, luego realiza una lectura del reloj a fin de incrementar el tiempo del proceso, si el mismo aún no termina de cumplirse entonces vuelve a realizar el mismo ciclo de trabajo descrito, caso contrario da por terminado la etapa del proceso y pasa a la siguiente hasta finalizar con la etapa de retardo de horneo.

3.2.2.7 Configuración lectura del sensor de temperatura.

Para la lectura del sensor de temperatura, la señal acondicionada ingresa hacia el conversor análogo digital del microcontrolador, el cual es debidamente configurado de tal forma que la señal proveniente desde la etapa de acondicionamiento que varía entre 0 y 5 voltios es transformada mediante la aplicación de la ecuación obtenida anteriormente, en un valor de temperatura, correspondiente al medio en el que se encuentra el sensor, este proceso se puede apreciar en la figura 3.29.

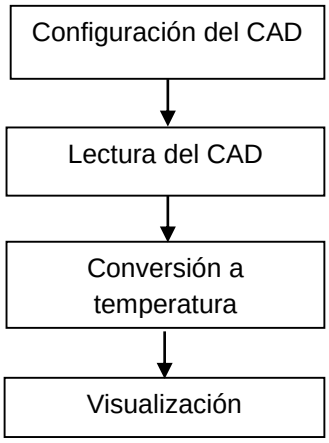


Figura 3.29. Proceso de lectura y visualización de temperatura.

3.2.2.8 Alarmas.

El software del dispositivo diseñado tiene la versatilidad de detectar varios tipos de alarmas, que inhiben la operación del equipo, cuando una de estas alarmas amerita dicha acción.

Dentro de las alarmas implementadas se puede encontrar las siguientes:

3.2.2.8.1 Paro de emergencia:

Detiene la operación del equipo una vez que es accionado, debido a algún evento que el usuario considere que implique riesgo para la integridad física de las personas o del equipo en sí, el mensaje mostrado en la pantalla se puede apreciar en la figura 3.30.

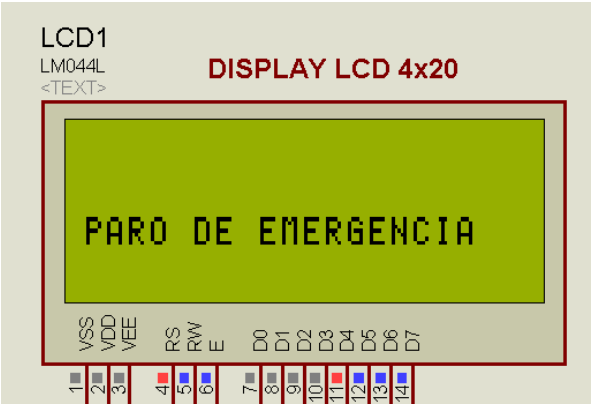


Figura 3.30. Visualización de paro de emergencia.

3.2.2.8.2 Puerta abierta:

Cada vez que la puerta del equipo sea abierta, se mostrará en el display el mensaje de la figura 3.31, pero no se apagará el equipo, ya que conviene mantener las condiciones deseadas al interior de la cámara.

Figura 3.31. Visualización de alarma de puerta abierta.

3.2.2.8.3 Sensor de humedad relativa:

Dentro de los datos enviados por el sensor DHT11 hacia el microcontrolador, se encuentran bits que determinan cuando no existe la condición de inicio, la cual se da cuando el sensor se desconecta o se avería, el mensaje mostrado en la pantalla se puede apreciar en la figura 3.32, también tiene la posibilidad de indicar si un error de checksum fue detectado, esto se da cuando la comprobación de la transmisión de datos es incorrecta, ya que el último byte de la sumatoria de los bytes de datos enviados por el sensor, debe corresponder al valor del checksum generado en el microcontrolador, esta condición se presenta en la figura 3.33.

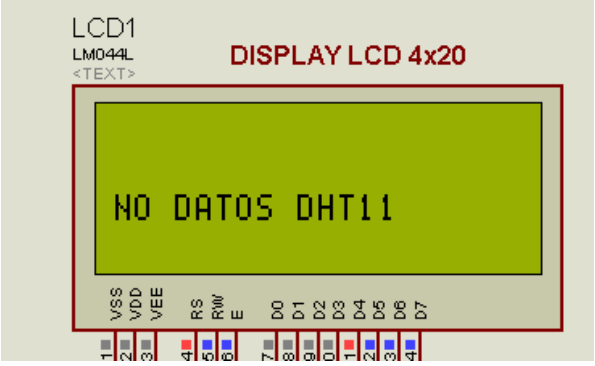


Figura 3.32. Visualización de alarma del sensor DHT 11.

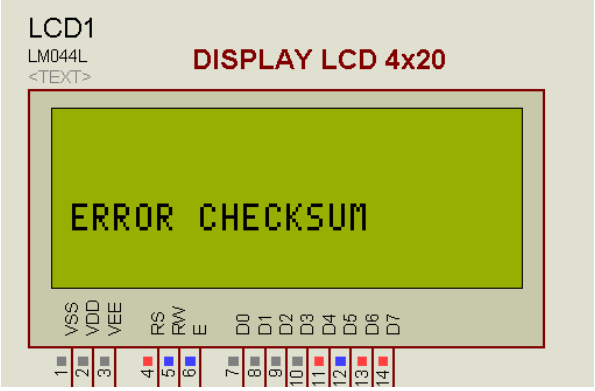


Figura 3.33. Visualización de alarma del sensor DHT 11.

De acuerdo a los datos programados por el usuario en cuanto a tiempos de proceso, se encuentra que el tiempo de conservación es determinado a través de diferencia del tiempo global y de los tiempos parciales de cada uno de los ciclos de operación de la cámara, se considera que el tiempo mínimo del ciclo de conservación es de al menos una hora, razón por la cual, para valores menores a este, se mostrará en la pantalla un mensaje de alarma, como se muestra en la figura 3.34.

Figura 3.34. Visualización de alarma por error de programación.

Las alarmas antes consideradas no son modificables por el usuario las que son inherentes al dispositivo diseñado, las mismas se muestran en la pantalla, en el instante en el que se presenten, especialmente cuando el equipo está en operación, en la figura 3.35 se aprecia el diagrama de flujo que corresponde a las alarmas.

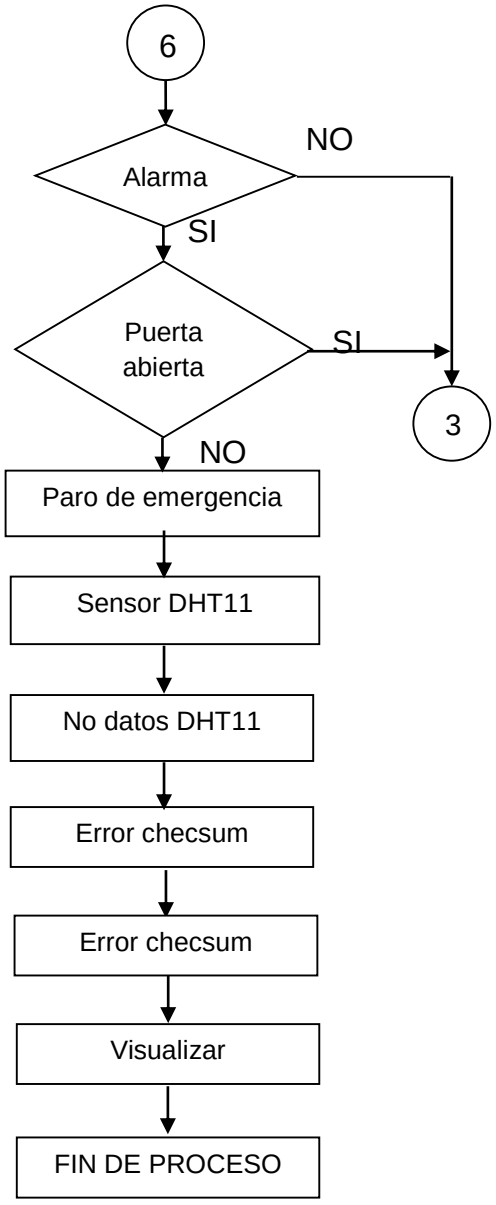


Figura 3.35. Alarmas de proceso.

3.3 SISTEMA PARA HORNEO DE PAN.

3.3.1. CONFIGURACIÓN DE PERIFÉRICOS.

La configuración de los periféricos del microcontrolador en este equipo, es muy similar a la configuración de la cámara de leudo, de ahí que en los siguientes párrafos se considerará con mayor hincapié aquellos que no se consideraron en el apartado anterior, los aspectos a configurarse son los siguientes:

- Comunicación serial.
- Comunicación I2C por software.
- Display para mostrar datos.
- Comunicación SPI por hardware.
- Conversor análogo-digital
- Entradas y salidas digitales.

3.3.1.1 Configuración de comunicación del MAX 31855.

En toda comunicación digital es necesario conocer la configuración de la señal, en las figuras 3.36 y 3.37 se muestran los diagramas del protocolo y los tiempos a tener en cuenta en la comunicación serie del sistema, entre el bloque de conversión y el de procesado digital, de las gráficas mostradas se obtiene la información del flanco activo de reloj, de subida en este caso, así como el orden de envío de los bits de datos. En el diagrama del protocolo se observa que el bit de menos peso D0, es el primero que se envía, de ahí que este será el primero recibido por el microcontrolador, en el diagrama de tiempos aparecen indicados los tiempos mínimos que se deben respetar para que la comunicación se realice de forma correcta.

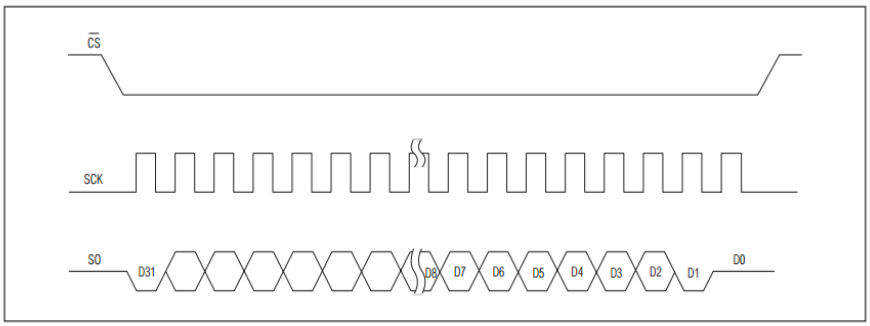


Figura 3.36. Protocolo de interfase serial. Tomado de [26].

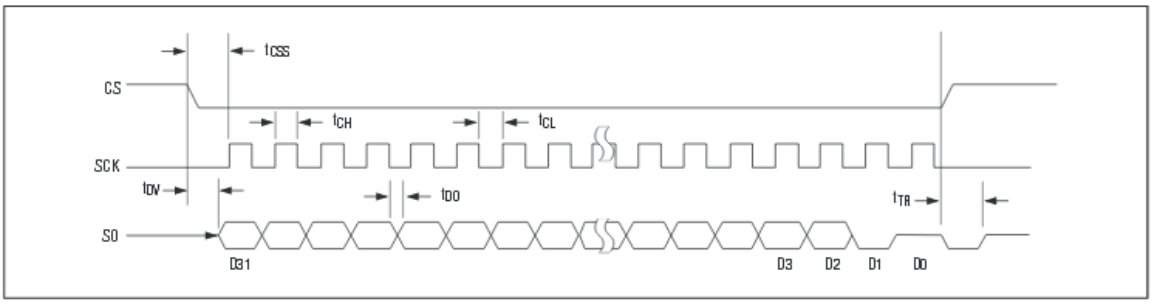


Figura 3.37. Temporizado de la interfase serial. Tomado de [26].

En la tabla 3.2 se aprecian los tiempos necesarios para ejecutar el protocolo de comunicación con el microcontrolador.

Tabla 3.2. Tiempos de la interfase serial. Tomado de [26].

Parámetro	Símbolo	Mínimo	Típico	Máximo	Unidades
Input Leakaje current	I_{LEAK}	-1		+1	µA.
Input capactance	C_{IN}		8		pF.
Serial clock frecuency	f_{SCL}			5	Mhz.
SCK pulse high width	t_{CH}	100			ns.
SCK pulse low width	t_{CL}	100			ns.
SCK Rise and fall time				200	ns.
SC fall to SCK Rise	t_{CSS}	100			ns.
SCK to CS hold		100			ns.
CS Fall to output enable	t_{DV}			100	ns.
CS Fall to output disable	t_{TR}			40	ns.
SCK fall to output data valid	t_{DO}			40	ns.
CS inactive time		200			ns.

3.3.1.2 Diagrama de flujo, proceso de configuración de parámetros.

En la figura 3.38, se establece que la programación de parámetros es muy similar al de la cámara de leudo, presenta variaciones en cuanto a las etapas que debe cumplir el proceso, lo cual es evidente ya que el proceso es diferente.

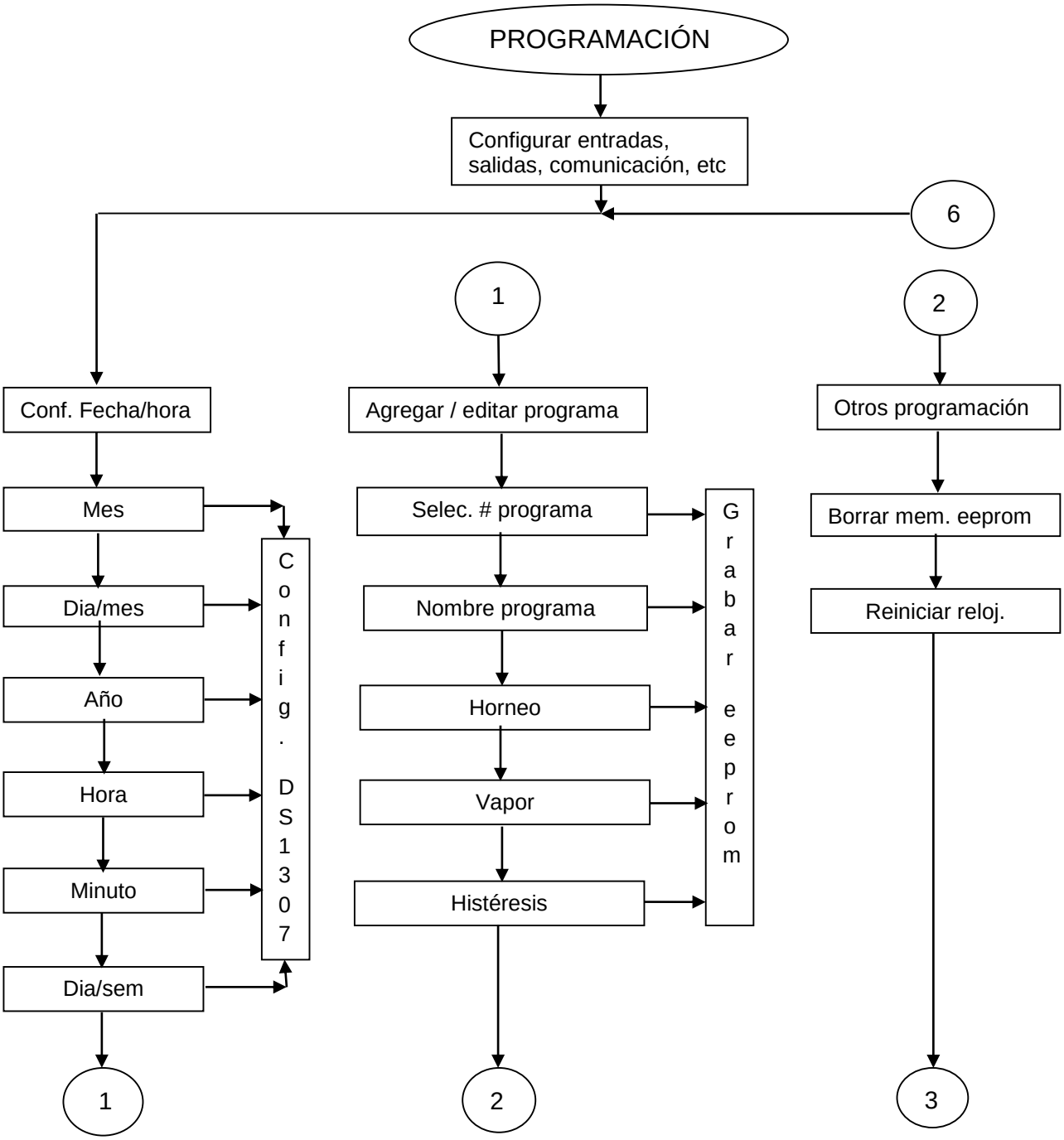


Figura 3.38. Programación de parámetros de horneo.

3.3.1.3 Diagrama de flujo, proceso de configuración de parámetros.

En la figura 3.39 se aprecia el control implementado en el programa, a través del mismo se podrá establecer el flujo de proceso que gobierna el proceso de horneo.

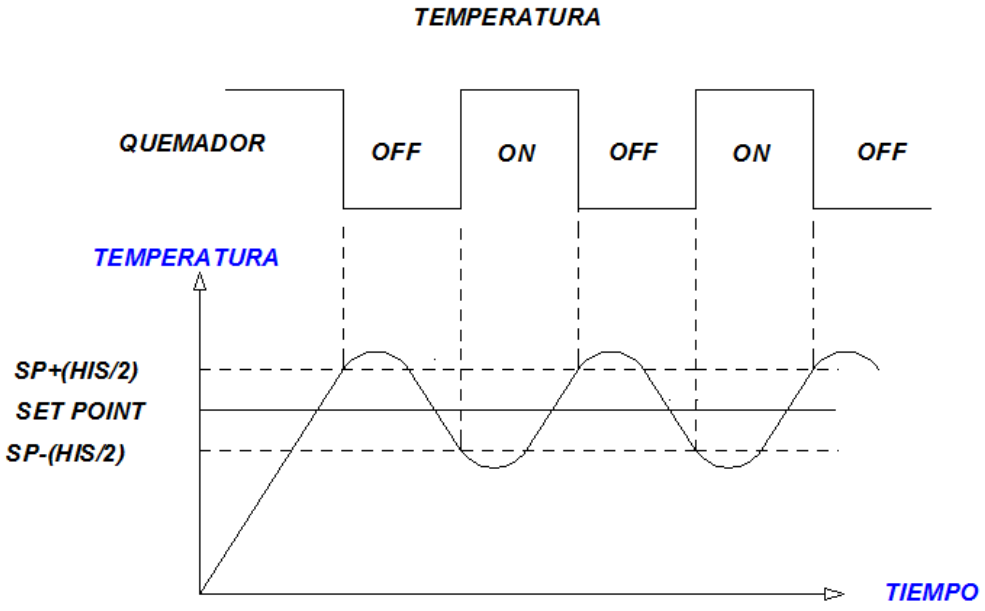


Figura 3.39. Control de temperatura de horneo.

De acuerdo a lo mostrado en la figura 3.40 se establece que el control de temperatura se inicia a través de la selección del programa o receta a ser puesta en marcha, para esto se leen desde la memoria eeprom los datos configurados para la receta seleccionada, con esto se da inicio al programa que realiza la lectura de la temperatura y evalúa si la temperatura del horno es menor o igual que la temperatura programada menos la mitad de la ventana de histéresis, de cumplirse esta condición se da paso al proceso de encendido de la llama, siendo el primer paso proveer de voltaje al encendedor de chispa durante un corto periodo de tiempo a fin de que a través de los electrodos se descargue el alto voltaje que se genera a su salida, al mismo tiempo se activa la electroválvula de gas a fin de permitir el paso del gas hacia el quemador, con lo cual la llama se establece, si esto no llegase a ocurrir existe un detector de flama el mismo que indicará al microprocesador si efectivamente la llama fue encendida.

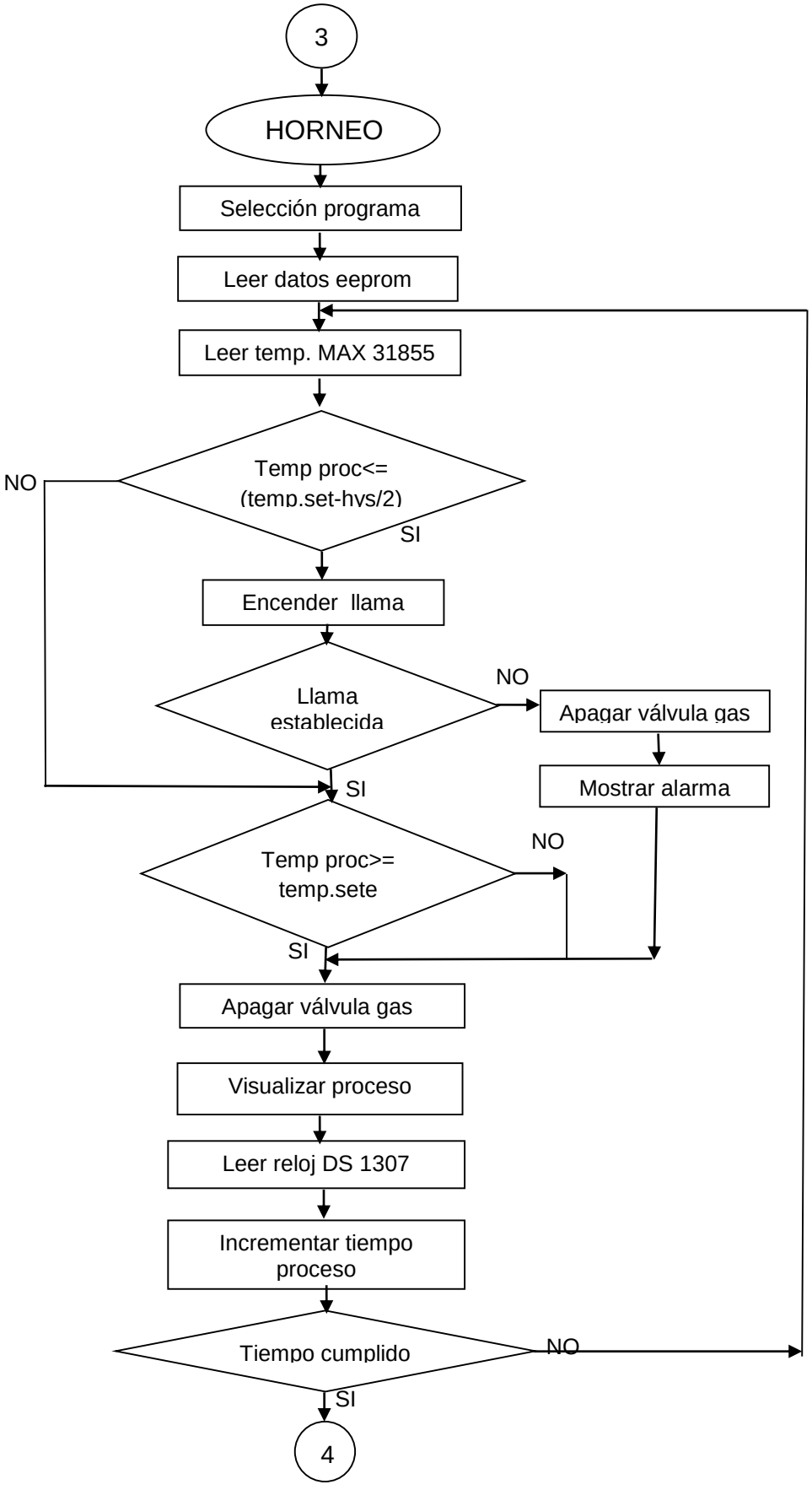


Figura 3.40. Diagrama de flujo de proceso.

Cuando la llama no se encendido se inhibe el paso de gas hacia el quemador mediante el apagado de la electroválvula de gas, y se muestra la alarma en el LCD. Luego se evalúa la siguiente condición que establece que la temperatura del horno es mayor o igual a la temperatura configurada más la mitad de la ventana de histéresis, de ser el caso la electroválvula de gas se apaga, transcurridos estas etapas, se muestra sobre el LCD los datos del proceso, tales como la temperatura actual, la etapa del proceso en la que se encuentra, la hora y fecha. Finalmente se determina si el tiempo transcurrido para el proceso ya se ha cumplido, de ser el caso se da por terminada la etapa y se inicia la siguiente o ya se finaliza el proceso, dependiendo en la etapa en la que se encuentra, en caso opuesto se continua con el proceso.

3.3.1.4 Diagrama de flujo, activación electroválvula.

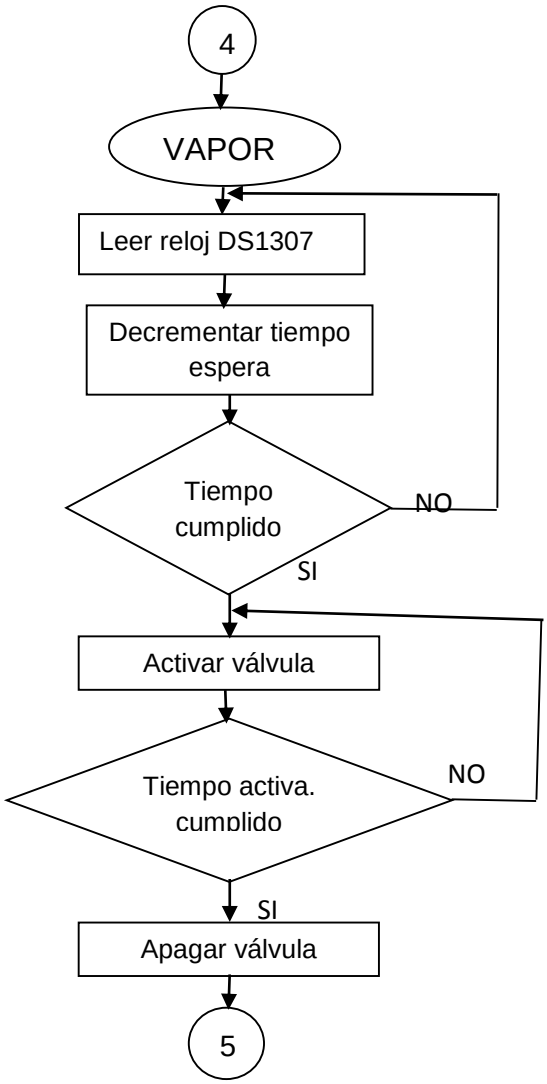


Figura 3.41. Proceso de activación de electroválvula.

Según se muestra en la figura 3.41, la activación de la electroválvula de agua que permite su paso hacia el interior del horno, a fin de generar vapor para ciertos tipos de panes está comandado por el microcontrolador, el mismo que deja transcurrir el tiempo programado antes de activar la electroválvula, la misma permite el paso del agua durante un corto período de tiempo luego del cual se apaga y vuelve a contabilizar el tiempo antes de una nueva activación.

También se puede activar la electroválvula de forma manual mediante el teclado disponible para el usuario.

3.3.1.5 Alarmas.

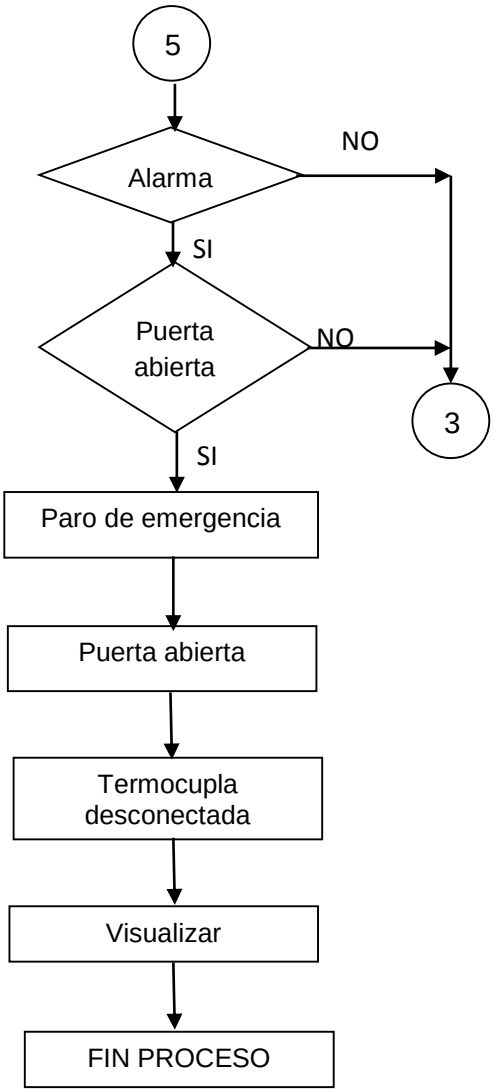


Figura 3.42. Diagrama de flujo para alarmas.

Para el proceso de horneo del pan también se establecen alarmas, cada vez que se hacen presentes, el proceso tomará una acción dependiendo de la importancia de la misma, es así que como en el caso de la cámara de leudo, la alarma de la puerta abierta no hace que el proceso se interrumpa, sin embargo la presencia de la alarma de paro de emergencia y termopar desconectada detienen el proceso, y se visualizan en el display la alarma detectada.

3.4 DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE Y HARDWARE IMPLEMENTADO PARA LA REALIZACIÓN DE PRUEBAS.

3.4.1 LABVIEW.

LabVIEW constituye un revolucionario sistema de programación gráfica para aplicaciones que involucren adquisición, control, análisis y presentación de datos.

LabVIEW es un entorno de programación destinado al desarrollo de aplicaciones, similar a los sistemas de desarrollo comerciales que utilizan el lenguaje C o BASIC. Sin embargo, LabVIEW se diferencia de dichos programas en un importante aspecto: los citados lenguajes de programación se basan en líneas de texto para crear el código fuente del programa, mientras que LabVIEW emplea la programación gráfica o lenguaje G para crear programas basados en diagramas de bloques.

Para el empleo de LabVIEW no se requiere gran experiencia en programación, ya que se emplean iconos, términos e ideas familiares a científicos e ingenieros, y se apoya sobre símbolos gráficos en lugar de lenguaje escrito para construir las aplicaciones. Por ello resulta mucho más intuitivo que el resto de lenguajes de programación convencionales.

LabVIEW posee extensas librerías de funciones y subrutinas. Además de las funciones básicas de todo lenguaje de programación, LabVIEW incluye librerías

específicas para la adquisición de datos, control de instrumentación VXI, GPIB y comunicación serie, análisis presentación y guardado de datos.

LabVIEW también proporciona potentes herramientas que facilitan la depuración de los programas.

Los programas desarrollados mediante este software se denominan instrumentos virtuales (VIs), porque su apariencia y funcionamiento imitan los de un instrumento real. Los VIs tienen una parte interactiva con el usuario y otra parte de código fuente, y aceptan parámetros procedentes de otros VIs. Todos los VIs tienen un panel frontal y un diagrama de bloques. Las paletas contienen opciones que se emplean para crear y modificar los VIs.

3.4.1.1 Panel Frontal.

Se trata de la interfaz gráfica del VI con el usuario, figura 3.42. Esta interfaz recoge las entradas procedentes del usuario y representa las salidas proporcionadas por el programa. Un panel frontal está formado por una serie de botones, pulsadores, potenciómetros, gráficos, etc.

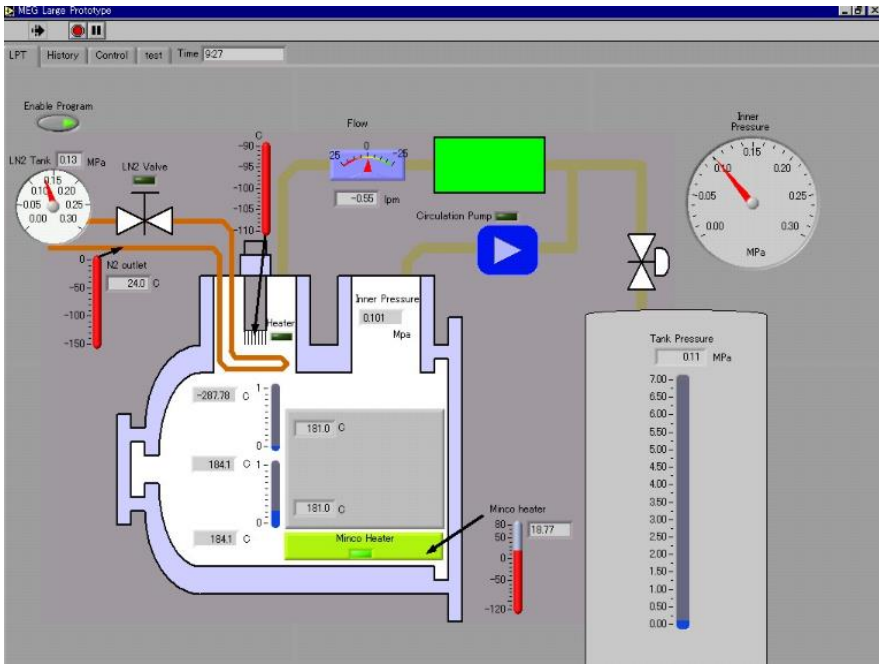


Figura 3.42. Panel frontal.

Cada uno de ellos puede estar definido como un control o un indicador. Los primeros sirven para introducir parámetros al VI, mientras que los indicadores se emplean para mostrar los resultados producidos, ya sean datos adquiridos o resultados de alguna operación.

3.4.1.2 Diagrama de bloques.

El diagrama de bloques constituye el código fuente del VI, figura 3.43. En el diagrama de bloques es donde se realiza la implementación del programa del VI para controlar o realizar cualquier procesado de las entradas y salidas que se crearon en el panel frontal. El diagrama de bloques incluye funciones y estructuras integradas en las librerías que incorpora LabVIEW. En el lenguaje G las funciones y las estructuras son nodos elementales. Son análogas a los operadores o librerías de funciones de los lenguajes convencionales.

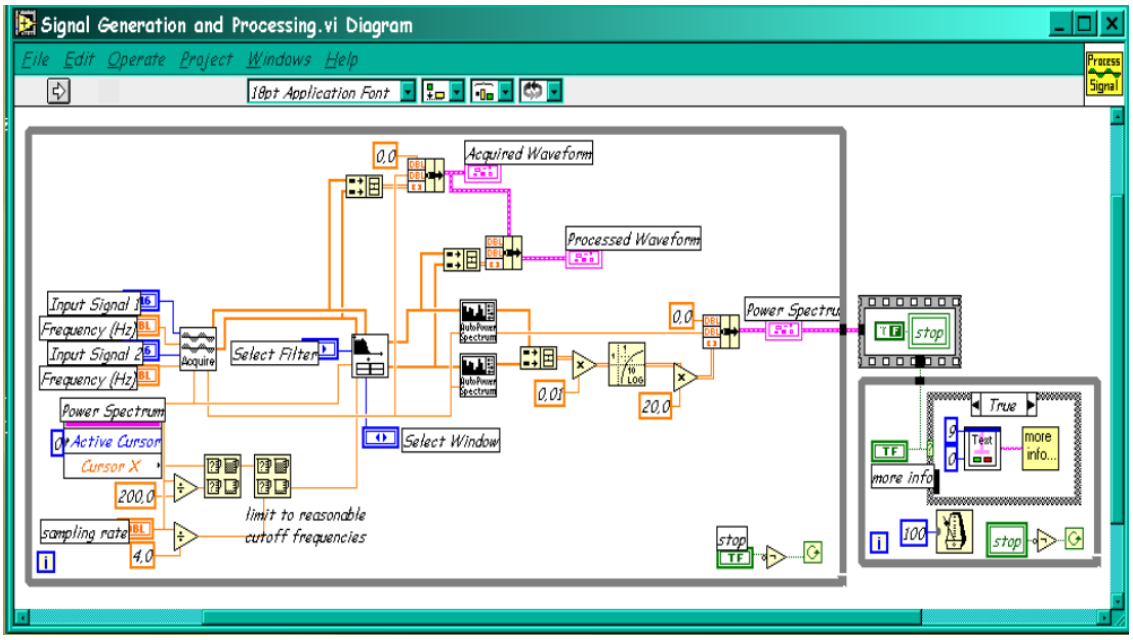


Figura 3.43. Diagrama de bloques.

Los controles e indicadores que se colocaron previamente en el Panel Frontal, se materializan en el diagrama de bloques mediante terminales.

3.4.2 PROGRAMA IMPLEMENTADO EN LABVIEW.

En la figura 3.44 se observa el panel frontal del VI implementado a fin de visualizar y almacenar los parámetros de temperatura y humedad relativa en la cámara de leudo y temperatura en el caso del horno.

En la figura 3.45 se aprecia el diagrama de bloques asociado al panel frontal de la figura anterior, este programa se concibe bajo la idea de adquirir los datos que tienen lugar durante cada uno de los procesos, esta adquisición se realiza a través de comunicación serial, protocolo RS-232, a continuación se detallan los VIs más importantes empleados.

VISA Configure Serial Port VI: configura el puerto serie con los parámetros de velocidad, paridad, número de bits y demás necesarios, para la comunicación. El puerto se selecciona con visa resource name creando un control o una constante en el diagrama de bloques o en el panel frontal se escanean los puertos disponibles en el ordenador y se muestran en una lista frontal.

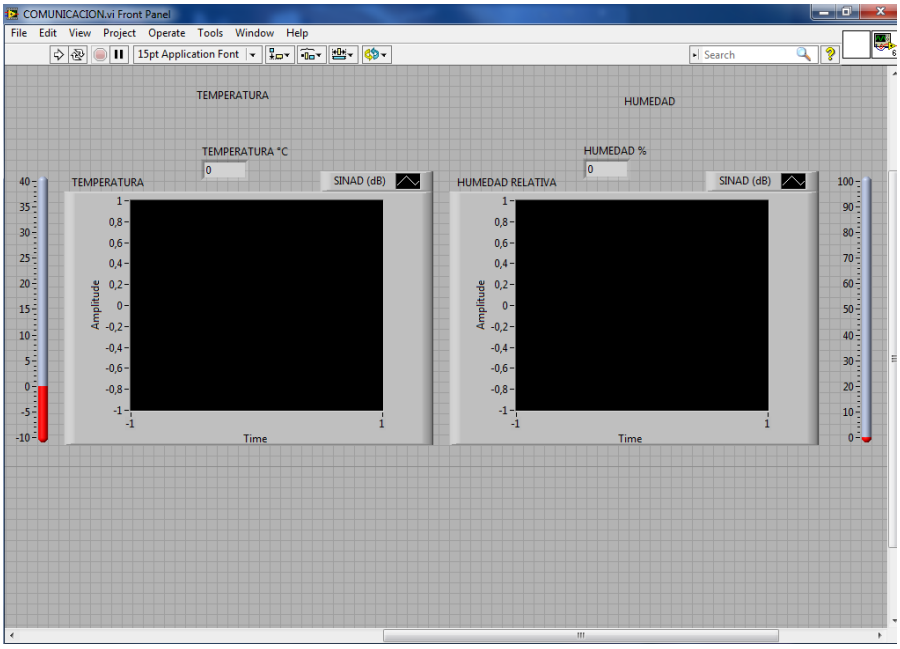


Figura 3.44. Panel frontal para visualización de proceso.

Visa Write: escribe datos desde el buffer hasta el otro dispositivo.

Visa Read: Recibe datos desde el otro dispositivo hasta el ordenador, es necesario indicar el número de bytes que puede leer del buffer.
Visa Close: Cierra una sesión visa.

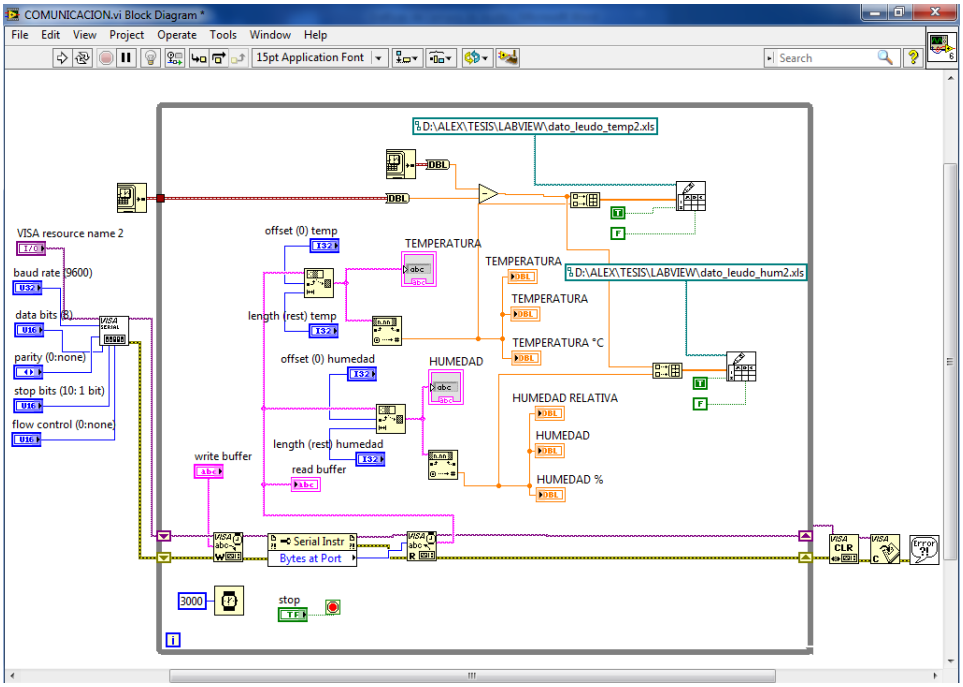


Figura 3.45. Diagrama de bloques para visualización de proceso.

Visa bytes at serial port: es una de las propiedades de una sesión Visa. Obtiene los bytes que hay en el buffer del puerto esperando para ser leídos.

String Subset: Devuelve la subcadena de la cadena de texto de entrada comenzando por el carácter de offset y conteniendo el número de caracteres indicado en length. El primer carácter de la cadena tiene un offset de 0.

Fract/Exp String to Number: Interpreta un character string desde 0 hasta 9 en un número de punto flotante.

Write To Spreadsheet File VI: este VI permite guardar en un archivo con un formato legible por programas de hojas de cálculo, para esto es importante determinar la dirección donde se guardarán los datos almacenados.

Waveform chart: Permite representar gráficos de datos numéricos equiespaciados, el gráfico se representa punto por punto. Los números escalares que llegan al indicador son la coordenada Y del gráfico mientras que la coordenada X de cada punto se incrementa automáticamente.

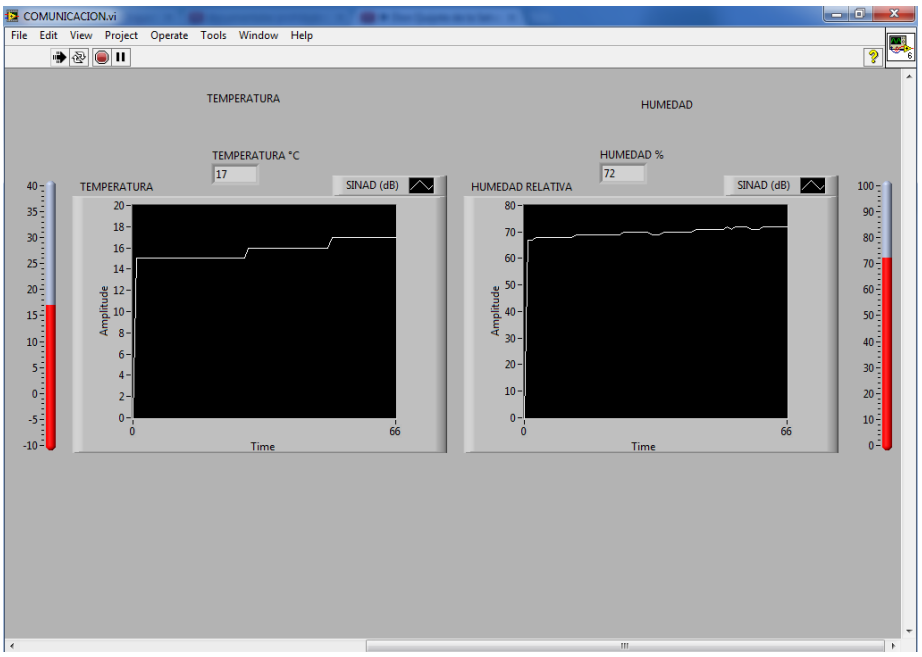


Figura 3.46. Proceso de lectura de datos.

En la figura 3.47 se muestra cuando el programa se encuentra en ejecución, realizando la lectura, visualización y almacenamiento de los datos.

Posterior a la lectura y almacenamiento de los datos es importante visualizarlos a fin de analizarlos y verificar la operación de los equipos puestos a prueba, con este propósito se emplea otro VI que fue desarrollado en labview, según se muestra en la figura 3.47 el diagrama del VI mencionado.

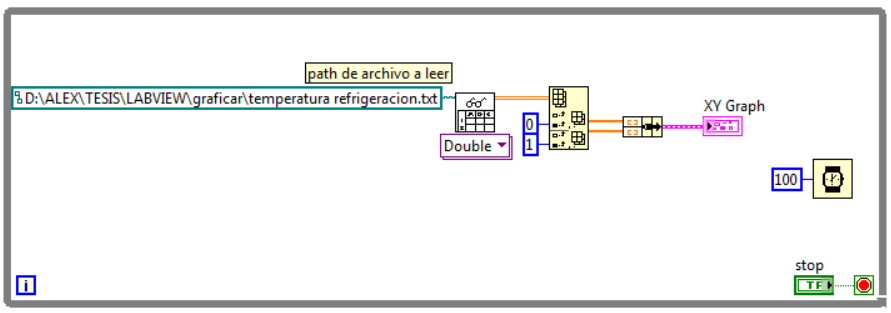


Figura 3.47.VI para visualización de resultados.

Como se puede apreciar este VI, únicamente va ha leer los datos almacenados y los va ha mostrar un una gráfica, a partir de la cual se analizará el comportamiento de los parámetros sugún el proceso va avanzando. Los siguientes son los más importantes VIs empleados:

Read from spreadsheet file: realiza la lectura del archivo a partir de la dirección que se escribe en el path.

Index Array: Accede a un elemento en un arreglo.

XY Graph; es un indicador gráfico para datos numéricos, representa los datos como bloques, pero no necesitan ser equiespaciados.

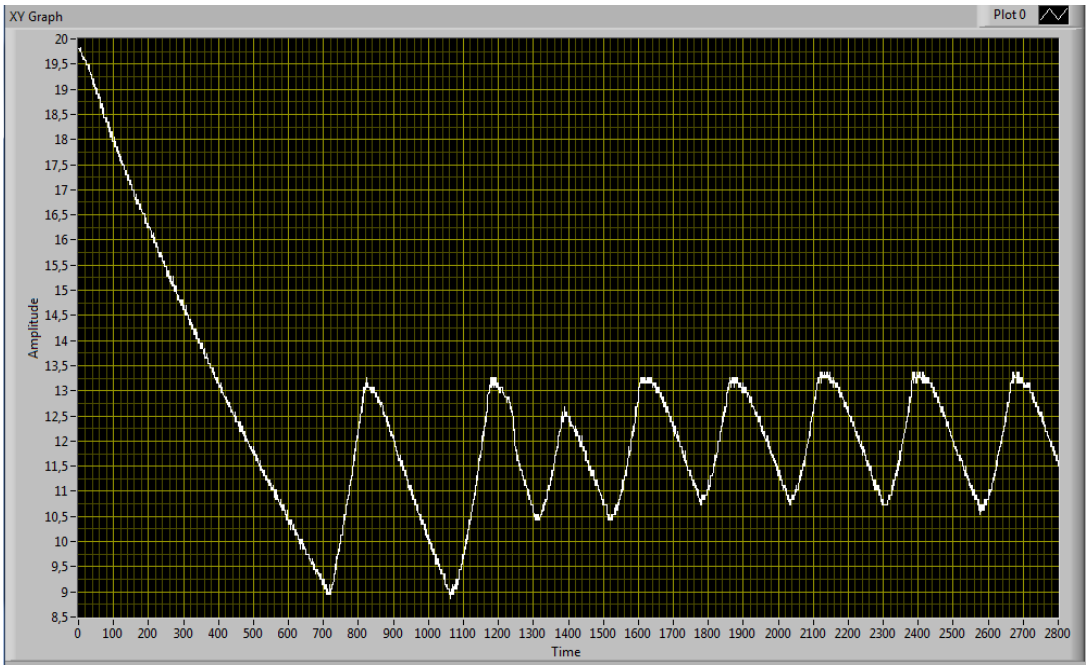


Figura 3.48. Panel frontal de visualización de resultados.

En el panel frontal solo se muestra lo de la figura 3.48.

3.4.3 SOFTWARE EN PIC-C.

La implementación del software para cargar al microcontrolador es muy simple, se lo realiza mediante la directiva “ #use rs232(opciones), la misma permite configurar varios parámetros u opciones del USART: velocidad de transmision, número de bits

de datos, pines utilizados, etc. Esta directiva habilita el uso de funciones tales como GETCH, PUTCHAR y PRINT. También permite el uso en dispositivos que no poseen módulo USART mediante software USART.

El dispositivo empleado dispone de hardware USART de modo que la configuración del mismo se realiza mediante la siguiente declaración:

```
#use rs232(baud=9600, xmit=pin_c6, rcv=pin_c7, bits=8, parity=N,stop=1)
```

Y la transmición de los datos se realiza mediante la siguiente instrucción.

```
printf("%f %d",temperatura_proceso,humedad_proceso);
```

3.4.4 HARDWARE IMPLEMENTADO.

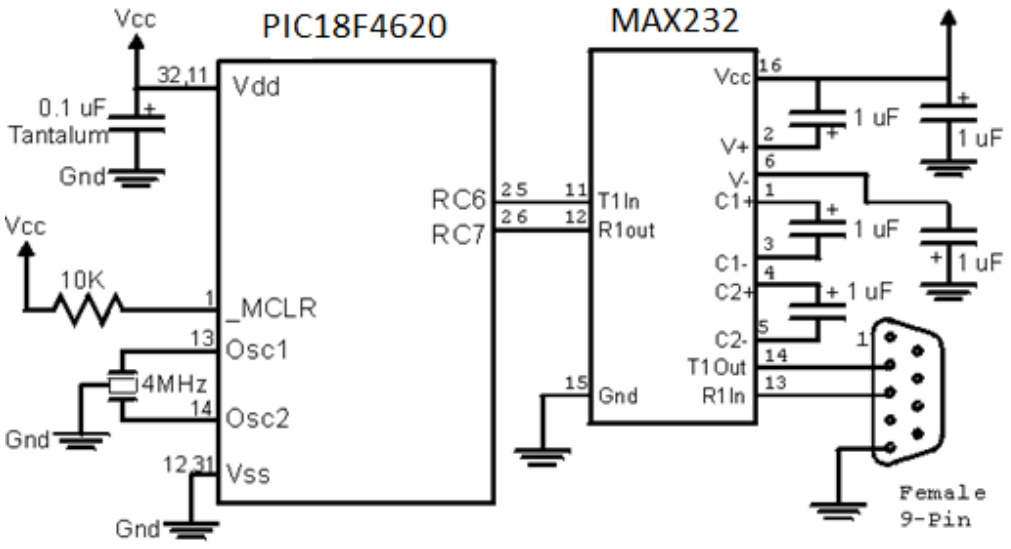


Figura 3.49. Diagrama del hardware implementado. Tomado de [31].

El MAX 232 es un circuito integrado de Maxim que convierte las señales de un puerto serie RS-232 a señales compatibles con los niveles TTL de circuitos lógicos y las señales TTL a RS 232.

En la figura 3.49 se aprecia el diagrama del circuito implementado a fin de lograr la comunicación entre el microcontrolador y la PC, donde se encuentra el VI a la espera de la llegada de los datos del proceso.

Figura 3.50. Cable de comunicación. Tomado de [32].

Dado que el computador sobre el cual se realizó la adquisición de los datos del proceso no dispone de un puerto serial 232 se recurrió al empleo de un cable conversor de USB a RS232, según la figura 3.50, el cual emula a través del USB una comunicación RS 232.

3.5 ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LOS PROTOTIPOS DESARROLADOS RESPECTO DE OTROS DISPOSITIVOS COMERCIALES SIMILARES.

Precio: Los costos son muy similares para los dos dispositivos, en el anexo 5 se observa el valor de los prototipos desarrollados, si se compara con dispositivos comerciales no se observará mayor diferencia, también se debe considerar que una producción en serie abarataría aún más los costos de fabricación.

Programación: Los dos sistemas son de fácil programación.

Versatilidad: Los prototipos desarrollados son mucho más versátiles, que los dispositivos creados por otras empresas, ya que sus diseños procuran abarcar la mayoría de aplicaciones donde se necesita el control sobre una variable definida,

mientras que los prototipos implementados hacen mayor énfasis en los procesos llevados a cabo, es decir son dedicados a una aplicación específica, y no solo controlan una variable del proceso, más bien mantienen el control de todo el proceso en sí.

Precisión: Los dos sistemas son muy precisos cuando se encuentran en operación.

Mantenimiento: El mantenimiento de estos equipos resulta más práctico ya que se puede resolver problemas de cualquier índole, desde mecánicos, eléctricos, electrónicos, de software inclusive, ya que todas sus partes y componentes han sido comprados de manera local, lo que permite que cualquier daño que se presente, se pueda resolver de manera eficiente y sin mayor pérdida de tiempo, asegurando de esta manera una continuidad en los procesos desarrollados por los dos módulos.

Características: Los equipos diseñados dan una solución a la medida de las necesidades propias de la industria ecuatoriana, ya que existen otros dispositivos comerciales que disponen de características que no son necesarias dentro de nuestro ámbito local, pero que sin embargo el propietario del equipo tiene que costear al adquirirlo a través de importación.

CAPÍTULO 4.

PRUEBAS Y RESULTADOS.

Este capítulo describe las pruebas realizadas en los módulos prototipo ensamblados, el horno y la cámara de leudado, tanto en su parte de programación y configuración de los parámetros, así como el funcionamiento de los mismos, ya que los equipos son sometidos a pruebas operativas, en donde se muestra el comportamiento de cada uno de los parámetros configurados en cada equipo.

4.1 PRUEBAS EN HORNO.

4.1.1 PRUEBAS DE PROGRAMACIÓN.

En la siguiente descripción se hará referencia a la programación que se realizó al equipo antes de que sea puesto en operación, con lo cual se validará el diagrama de flujo mostrado en los capítulos anteriores.

Figura 4.1. Programación de parámetros de horneo.

Figura 4.2. Programación de parámetros de horneo.

En el teclado del panel de control se presiona la tecla “PROGRAMACION” a fin de ingresar al menú principal de programación, de acuerdo a lo mostrado en las figuras 4.1 y 4.2 respectivamente.

4.1.1.1 Configuración de fecha y hora.

Dentro del menú de programación se ingresa a la opción “EDITAR HORA”, en donde se desplegará la imagen de la figura 4.3

Figura 4.3. Edición de fecha y hora.

En este menú se puede modificar la hora y fecha actual, a fin de tener como referencia, estos datos serán mostrados durante todo el proceso de operación el equipo.

Figura 4.4. Reset memoria eeprom del microcontrolador.

También dentro de la opción “OTROS PROGRAMACION” se ofrece la posibilidad de borrar o resetear la memoria eeprom del microcontrolador, con lo cual todos los parámetros almacenados se volverán a cero, adicionalmente se puede cargar una determinada fecha y hora predeterminada, a partir de la cual se inicia la cuenta del reloj, figura 4.4 esta opción es especialmente útil cuando se termina el ensamblado de la placa y se debe proveer de un dato al DS 1307 a fin de que inicie el reloj.

4.1.1.2 Ingreso a menú y configuración de parámetros de operación.

Figura 4.5. Edición de programa.

En la figura 4.5 se muestra el menú de opciones que se tiene para editar el programa, se inicia con la elección del número de receta que se desea editar.

Luego el parámetro a programar corresponde al nombre de la receta, este es muy útil ya que servirá como referencia para discriminar de otras variedades de pan, que necesitan un proceso diferente, así los valores programados se mantendrán en la memoria eeprom del microcontrolador.

Según se aprecia en la figura 4.6, junto a “NOMBRE REC:” se encuentra el nombre de la receta con la que se almacenarán los parámetros subsiguientes de temperatura, humedad y tiempo para cada etapa del proceso, bajo este se observa todo el abecedario, incluido los números, con lo cual el usuario puede escoger letra a letra y formar así el nombre deseado.

Figura 4.6. Programación del nombre de la receta.

En la figura 4.7 se aprecia la siguiente etapa de programación, es decir “HORNEO” aquí están las tres fases posibles del proceso, la temperatura, se expresa en (°C) y el tiempo en minutos.

Figura 4.7. Configuración de temperatura de horneo.

En la figura 4.8 se observa el intervalo de activación del relé que activará la electroválvula a fin de permitir el paso de agua hacia el interior del horno, el agua es necesaria solo en ciertas variedades de pan, por lo cual, cuando no se necesite se ha de poner en un intervalo de 0 minutos y duración de 0 segundos.

Figura 4.8. Configuración de vapor de horneo.

El último parámetro a programar es la histéresis del proceso, según se observa en la figura 4.9.

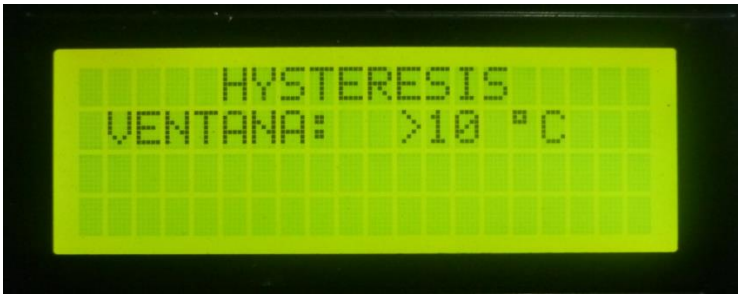


Figura 4.9. Configuración de la histéresis de temperatura de horneo.

4.1.1.3 Mensajes de alarma.

El equipo dispone de varios mensajes que indicarán al usuario la existencia de alguna condición que merece su atención, con lo que todo el equipo se apaga, pero

en el panel de control se mostrará el daño ocurrido. En caso de que el termopar haya sido desconectado el siguiente mensaje se visualizará en la pantalla, figura 4.10.

Figura 4.10. Visualización de alarma por falla de flama.

En el panel de control se encuentra un botón de paro de emergencia con retención, el mismo es dispuesto con el propósito de que cuando al usuario se le presente una condición de peligro inminente el mismo sea activado, lo cual hará que el equipo sea desconectado automáticamente, y en la pantalla se observará el mensaje de la figura 4.11.

Figura 4.11. Visualización de alarma por paro de emergencia.

En caso de que la puerta sea abierta, se mostrará en la pantalla el mensaje de la figura 4.12, pero el horno seguirá trabajando de manera normal.

Figura 4.12. Visualización de alarma por puerta abierta.

Cabe señalar que esta alarma no apaga el equipo, que a diferencia de las otras, que si lo hacen.

Durante el proceso de encendido de llama y durante el tiempo en el que la válvula de gas es activada para permitir el paso del gas hacia el quemador, se vigila de manera permanente la existencia de flama en el quemador, si la misma no se detectase el sistema inhibe el paso de gas y se muestra el mensaje de la figura 4.13

Figura 4.13. Visualización de ignición de flama.

4.1.2 PRUEBAS DE OPERACIÓN.

Tabla 4.1. Parámetros programados para horneo.

FASE	TIEMPO (min.)	RANGO TEMPERATURA (°C)	HISTÉRESIS (°C)
Primera	60	70	10
Segunda	40	90	10
Tercera	60	110	10

Cabe señalar que la histéresis hará que se apague la electroválvula de gas 5°C por encima del valor configurado; y 5°C por debajo de la temperatura programada, la electroválvula será encendida a fin de calentar el horno.

En la figura 4.14 se aprecia el comportamiento de la temperatura cuando el horno es puesto en marcha, de acuerdo a lo mostrado el horno inicia a la temperatura ambiente, donde rápidamente alcanza la temperatura deseada, aproximadamente a los 12 minutos, sin embargo aun cuando la electroválvula ha sido apagada para

evitar un mayor calentamiento, el horno sigue incrementando su temperatura, esto es debido a que aún queda en el quemador gas por consumirse en el quemador.

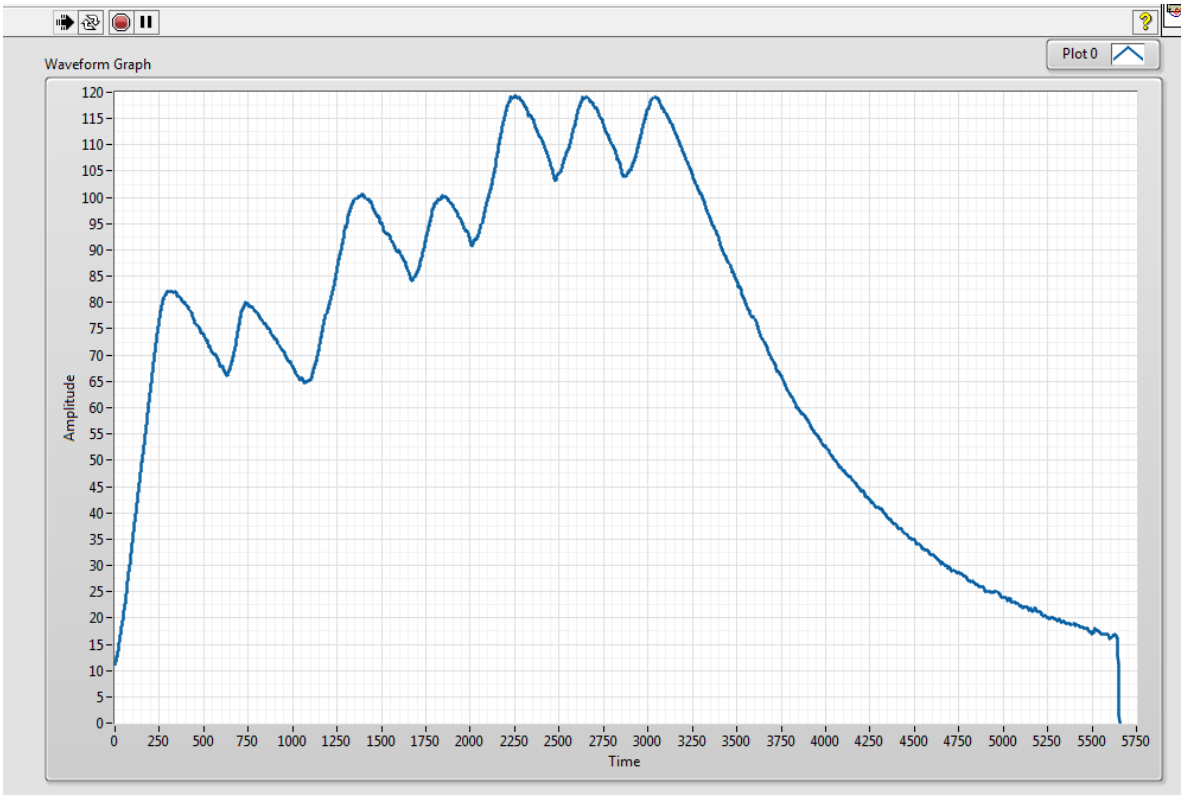


Figura 4.14. Proceso de horneo.

De acuerdo a lo mostrado en la figura 4.14, el horno cumple a cabalidad el objetivo deseado, en cada uno de las fases del proceso, el tiempo aproximado de todo el proceso que se llevó a cabo es de aproximadamente 4 horas y media.

Figura 4.15. Horno a gas.

En la figura 4.15 se aprecia una fotografía del equipo de horneo empleado en el desarrollo del presente proyecto de titulación, en la figura 4.16 se aprecia el panel de control para programar y controlar el proceso de horneo del pan.

Figura 4.16. Panel de control.

4.2PRUEBAS EN CÁMARA DE LEUDO.

4.2.1 PRUEBAS DE PROGRAMACIÓN.

El proceso de programación de la fecha y hora así como el borrado completo de la memoria eeprom del microcontrolador y el de cargar al reloj DS1307 con una fecha determinada, es similar al del horno, que se lo revisó en el aparatado anterior, por esta razón se hará referencia solamente a aquellos parámetros que difieren de los del horno.

4.2.1.1 Ingreso a menú y configuración de parámetros de operación.

El menú principal de programación es similar al del horno, al ingresar a la opción “EDITAR RECETA” se observarán los siguientes mensajes en la pantalla, que corresponden a las opciones configurables, figuras 4.17, 4.18 y 4.19.

Figura 4.17. Edición de parámetros de refrigeración.

Figura 4.18. Edición de parámetros de pre fermentación I.

Figura 4.19. Edición de histéresis de enfriamiento.

Se muestra las diferentes configuraciones de los parámetros para el proceso de fermentación controlada.

Para la configuración del proceso de refrigeración se consideran los parámetros mostrados en la figura 4.20.

Figura 4.20. Configuración de los parámetros de refrigeración.

En la figura 4.21 se indica la configuración para la etapa de conservación de las masas, aquí solo se configura la temperatura ya que el tiempo será calculado de forma automática cuando se defina el tiempo total del proceso.

Figura 4.21. Configuración de los parámetros de conservación.

En la figura 4.22 se muestra los parámetros para configurar la etapa de fermentación 1, los parámetros para el resto de etapas son muy similares, lo que cambiaría son los valores programados.

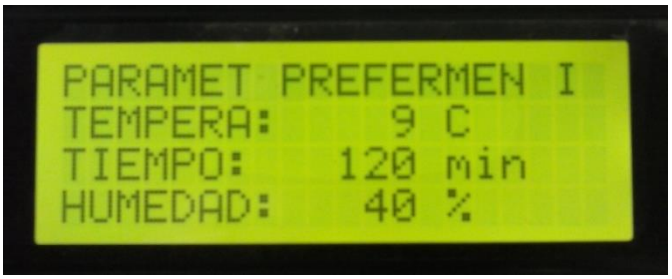


Figura 4.22. Configuración de los parámetros de pre fermentación I.

En las figura 4.23 y 4.24 respectivamente se muestra el menú para configurar el valor de la histéresis para las etapas de enfriamiento y de calentamiento

Figura 4.23. Configuración de histéresis de enfriamiento.

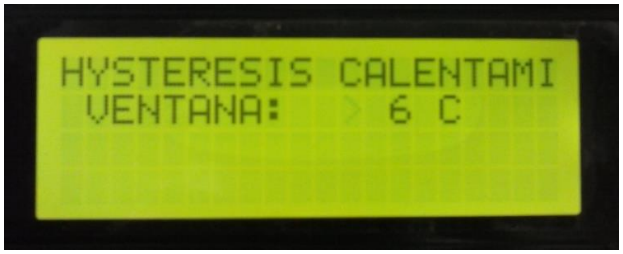


Figura 4.24. Configuración de histéresis de calentamiento.

4.2.1.2 Mensajes de alarma.

Los mensajes de alarma que dispone el equipo son similares a los del horno, en cuanto al paro de emergencia y al de puerta abierta. Sin embargo existe un mensaje propio del equipo, el mismo se da cuando el sensor de humedad relativa ha sido desconectado, el mensaje desplazado se muestra en la figura 4.25.

Figura 4.25. Visualización de alarma.

4.2.2 PRUEBAS DE OPERACIÓN.

Para la observación de los resultados obtenidos del comportamiento del equipo, se abordarán de forma individual.

4.2.2.1 Temperatura cámara de leudo.

De acuerdo al capítulo 3, los tiempos y parámetros de operación son configurados antes de iniciar el proceso, de ahí que a continuación se muestran con los que se configuraron para la puesta en marcha de la cámara de leudo.

La duración de las pruebas se estimó para 12 horas, de donde el proceso de fermentación controlada, consta de seis etapas se dividieron según se menciona

4.2.2.1.1Refrigeración.

Tabla 4.2. Configuración de temperatura para refrigeración.

TIEMPO (min.)	SET POINT (°C)	RANGO TEMPERATURA (°C)	HISTÉRESIS (°C)
120	-6	-7°C hasta – 5 °C	2 °C

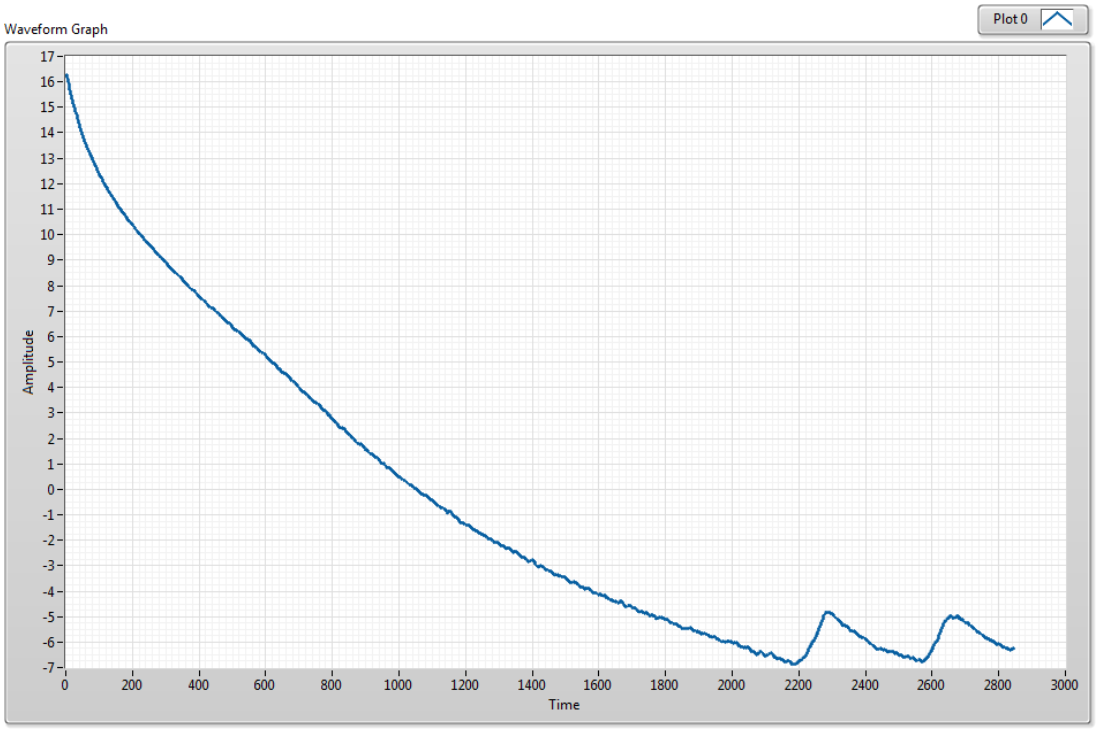


Figura 4.26. Visualización de temperatura para refrigeración.

En la figura 4.26 se observa la evolución de la temperatura cuando esta debe descender desde un valor de 16 °C que es la temperatura ambiente en el día que se realizaron las pruebas hasta el valor configurado de -6 °C, según la tabla 4.2.

De acuerdo a lo mostrado se puede identificar que el descenso de temperatura se ocurre de manera uniforme, es de mencionar que la mayor parte del tiempo de refrigeración es invertido en alcanzar la temperatura programada desde la temperatura ambiente

Se aprecia además que una vez alcanzada la temperatura programada el circuito de refrigeración se apaga con lo cual la temperatura puede ascender hasta el límite superior, que en este caso es de - 5 ° C, en todo el ciclo de operación del equipo se cumple a cabalidad los rangos estimados de funcionamiento.

4.2.2.1.2 Conservación.

Tabla 4.3. Configuración de temperatura para la conservación.

TIEMPO (min.)	SET POINT (°C)	RANGO TEMPERATURA (°C)	HISTÉRESIS (°C)
120	-2 °C	-3°C hasta - 1°C	2 °C

De acuerdo a la figura 4.27 se nota claramente que la variación de temperatura para esta etapa del proceso se mantiene de acuerdo a los valores programados, en la tabla 4.3, tanto en el límite superior así como en el inferior, durante el descenso de temperatura se activa el sistema de refrigeración y el de ventilación, cumpliendo con lo requerido según los parámetros configurados.

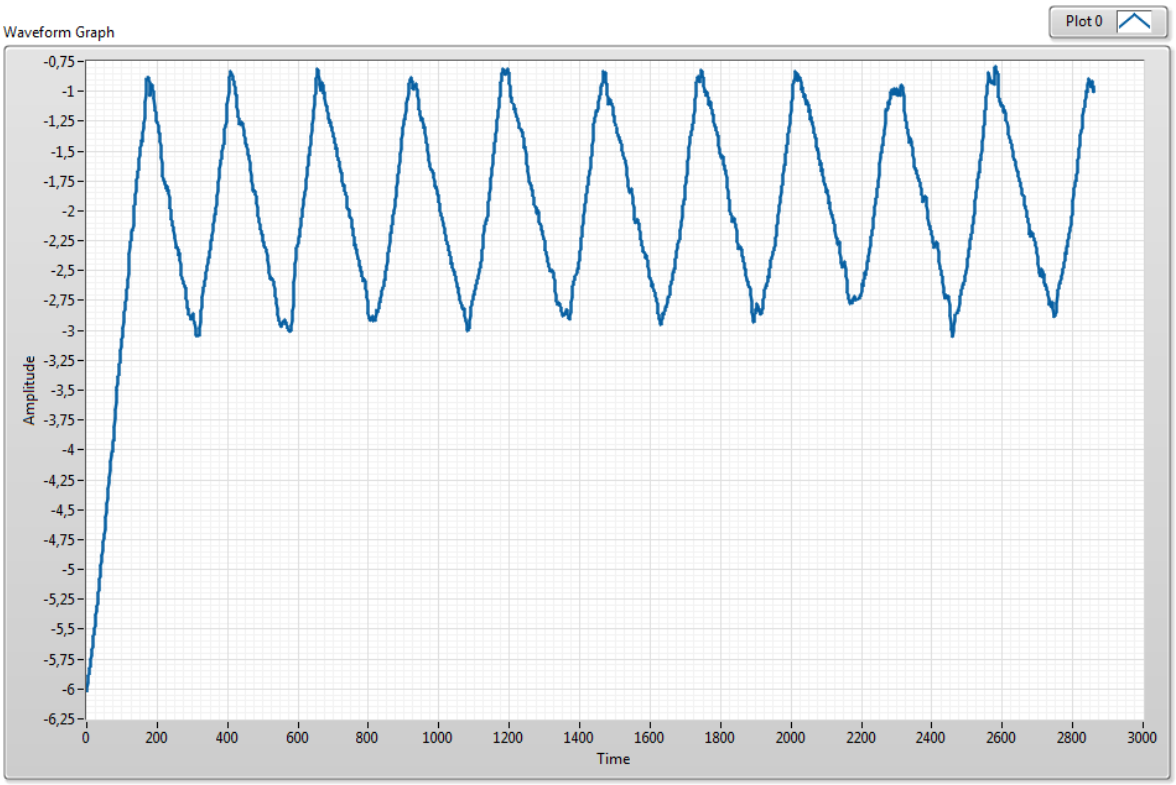


Figura 4.27. Visualización de temperatura para el proceso de conservación.

El tiempo que permanece dentro de esta etapa es determinado en función del tiempo global del proceso así como por el tiempo de cada una de las etapas del proceso.

La temperatura que alcanza el equipo en su límite superior supera unas cuantas décimas de grado el punto deseado, esto se debe a la inercia del sistema durante su ciclo de calentamiento, sin embargo el sistema reacciona de manera oportuna

4.2.2.1.3 Pre fermentación 1.

Tabla 4.4. Configuración de temperatura para la pre fermentación I.

TIEMPO (min.)	SET POINT (°C)	RANGO TEMPERATURA (°C)	HISTÉRESIS (°C)
60	9	+7°C hasta + 11°C	4 °C

Por lo mostrado en la figura 4.28 y según lo expuesto en la tabla 4.4 la temperatura se encuentra dentro de los márgenes esperados según los parámetros configurados, sin embargo durante un período de tiempo la temperatura supera los 11 °C, esto se debe a que el control durante este proceso y los consecutivos también se procura mantener la humedad relativa dentro de ciertos valores, de manera general cumple con el comportamiento esperado.

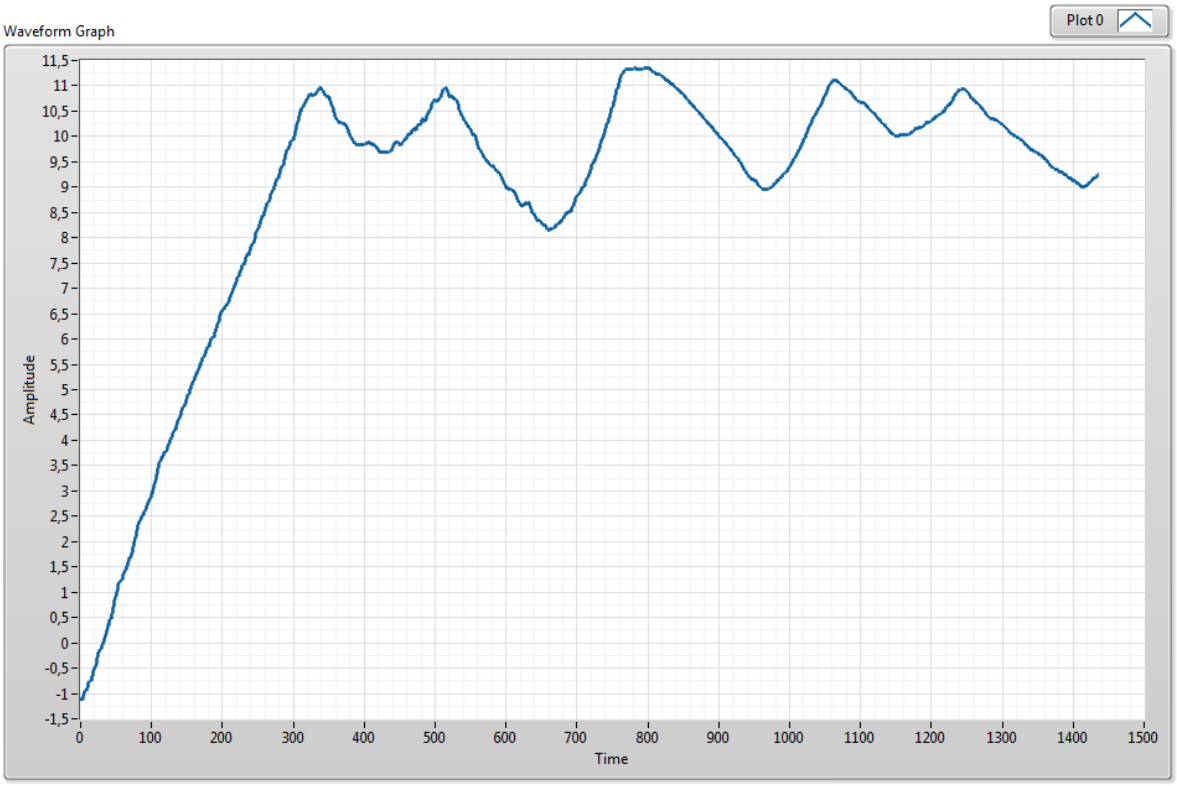


Figura 4.28. Visualización de temperatura para proceso de pre fermentación I.

4.2.2.1.4 Pre fermentación 2.

Tabla 4.5. Configuración de temperatura para la pre fermentación II.

TIEMPO (min.)	SET POINT (°C)	RANGO TEMPERATURA (°C)	HISTÉRESIS (°C)
120	15	+13°C hasta + 17°C	4 °C

Según la tabla 4.5 la temperatura debe mantenerse oscilante entre los 13° C y los 17°C durante la ejecución de esta etapa, la misma se cumple según se observa en la figura 4.29.

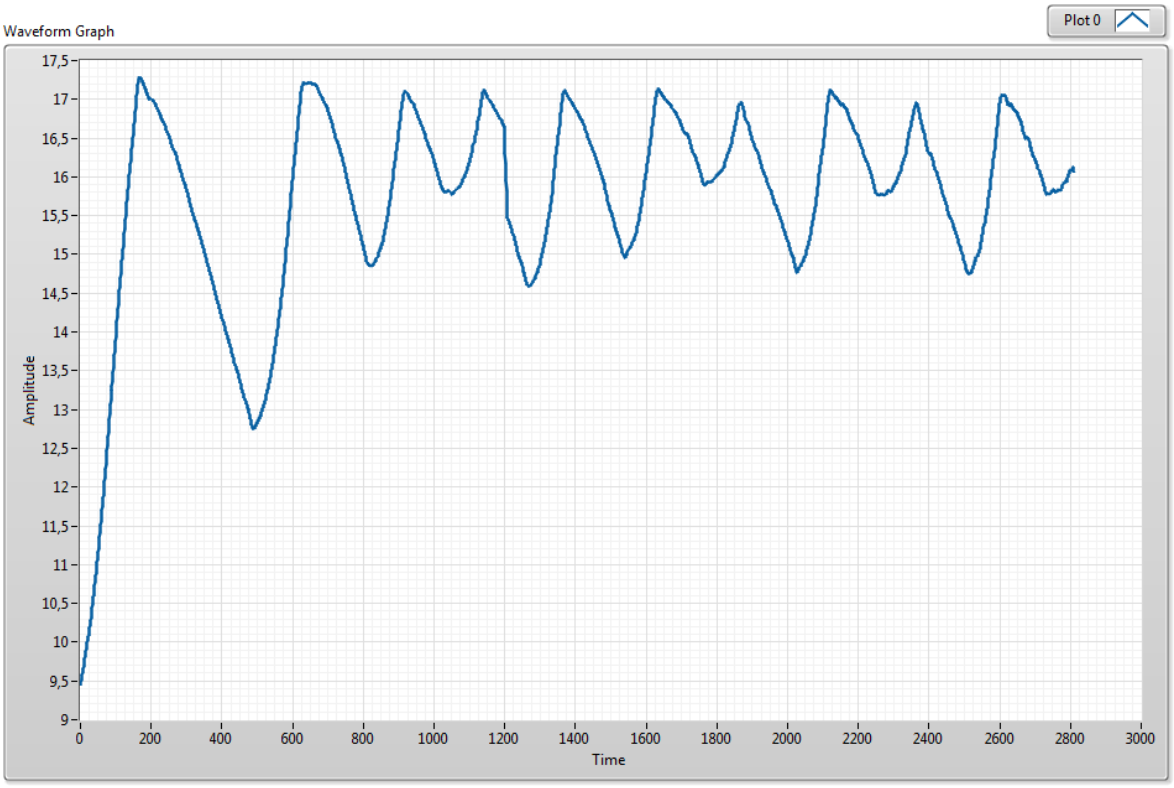


Figura 4.29. Visualización de temperatura para proceso de pre fermentación II.

4.2.2.1.5 Fermentación.

Tabla 4.6. Configuración de temperatura para la fermentación.

TIEMPO (min.)	SET POINT (°C)	RANGO TEMPERATURA (°C)	HISTÉRESIS (°C)
120	20	+22°C hasta + 18°C	4 °C

Comparando la tabla 4.6 así como con la gráfica de la figura 4.28, los datos obtenidos se puede concluir que esta etapa se realiza según los parámetros configurados, es de notar que al iniciar el proceso el límite inferior es superado al valor configurado, como se verá más adelante esto obedece a un incremento en la humedad relativa durante el proceso de calentamiento y con el propósito de retornar a la humedad a un valor dentro de los límites admisibles se procede a encender el

sistema de refrigeración que hace que la temperatura así como la humedad relativa se reduzcan, sin embargo en el resto del proceso se observa que se cumple de manera óptima los parámetros de configuración, según la tabla 4.6

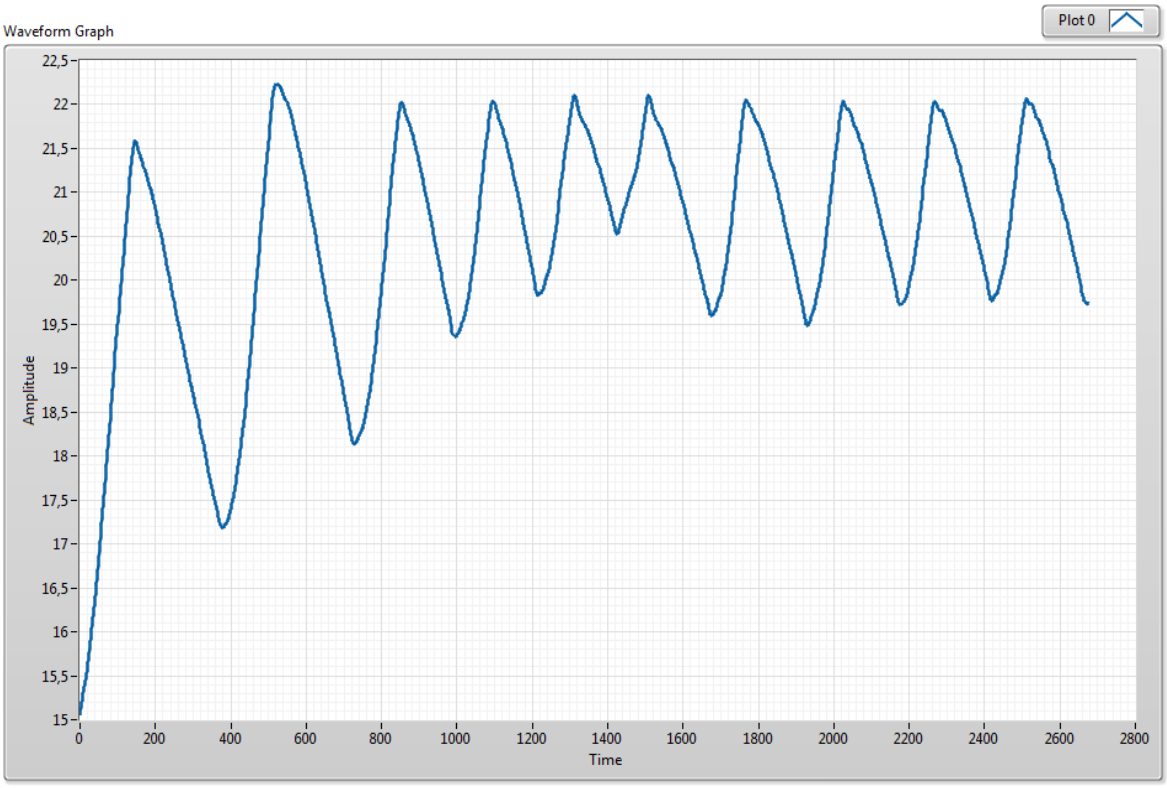


Figura 4.30. Visualización de temperatura para proceso de fermentación.

4.2.2.1.6 Retardo de horneo.

Tabla 4.7. Configuración de temperatura para retardo de horneo.

TIEMPO (min.)	SET POINT (°C)	RANGO TEMPERATURA (°C)	HISTÉRESIS (°C)
120	14	+12°C hasta + 16°C	4°C

La figura 4.31 muestra el cumplimiento de esta etapa del proceso llevado a cabo en la cámara de leudo, según lo establecido en la tabla 4.7.

La histéresis para todas las etapas se consideró que es de 3 °C, sin embargo las variaciones en algunos casos ha sido ligeramente mayor, pero la calidad del producto no se verá afectada en mayor medida, además es de cosiderar que

además de la temperatura, la humedad relativa es también un parámetro a ser considerado, y la misma se analizará mas adelante.

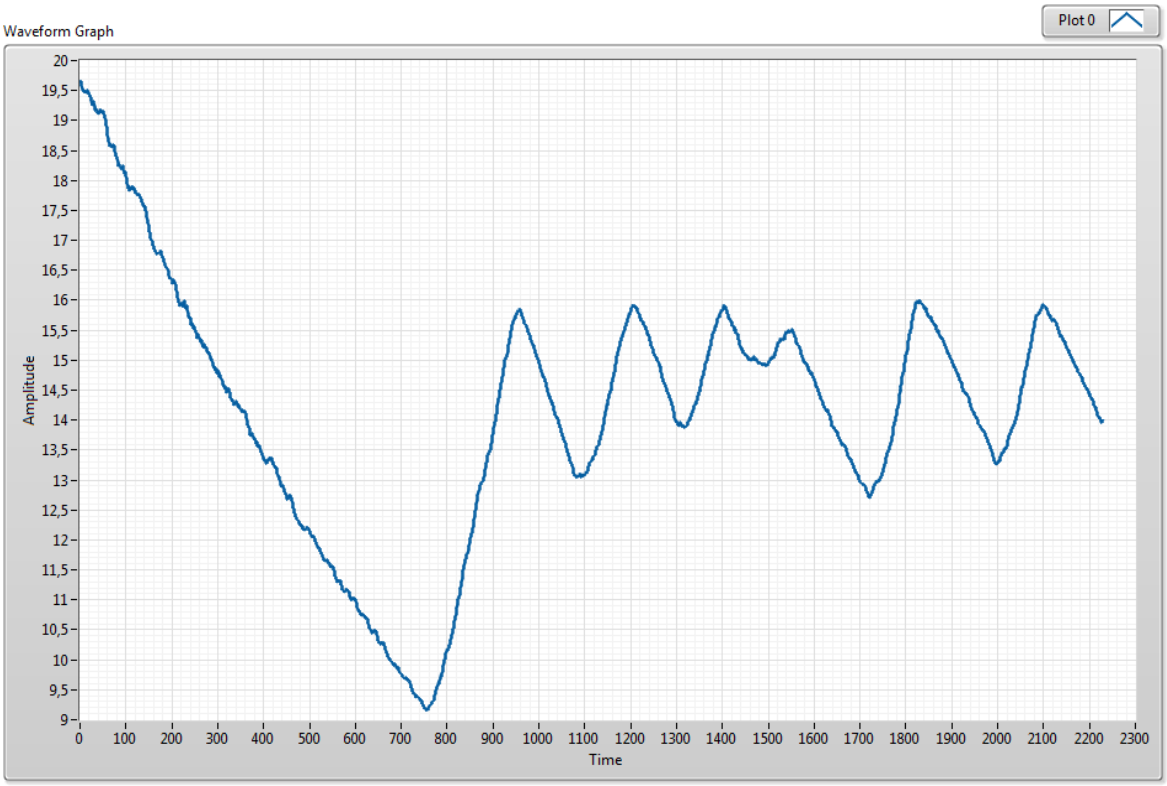


Figura 4.31. Visualización de temperatura para proceso de retardo de horneo.

4.2.2.2 Humedad relativa cámara de leudo.

4.2.2.2.1 Pre fermentación 1

Tabla 4.8. Configuración de humedad para pre fermentación I.

TIEMPO (min.)	SET POINT (%)	RANGO HUMEDAD RELATIVA (%)	HISTÉRESIS (%)
600	55	+52°C hasta + 58°C	6

La tabla 4.8 muestra los valores de humedad relativa en términos de porcentaje que debe mantener la cámara de leudo.

En la figura 4.32 se observa el comportamiento de la humedad relativa durante esta etapa del proceso, se debe notar que la humedad relativa se encuentra dentro de

los parámetros establecidos en la tabla 4.8 durante la mayor parte del tiempo que dura el proceso, sin embargo existen momentos en los cuales los valores del proceso están por debajo o por encima de los valores configurados, es importante señalar que durante el proceso de leudado siempre se procura dar la mayor prioridad a la temperatura, razón por la cual existen intervalos de tiempo en los cuales la humedad sufre cierta variación fuera de su ventana de histéresis, sin embargo esto no tiene mayor repercusión en el proceso de leudado.

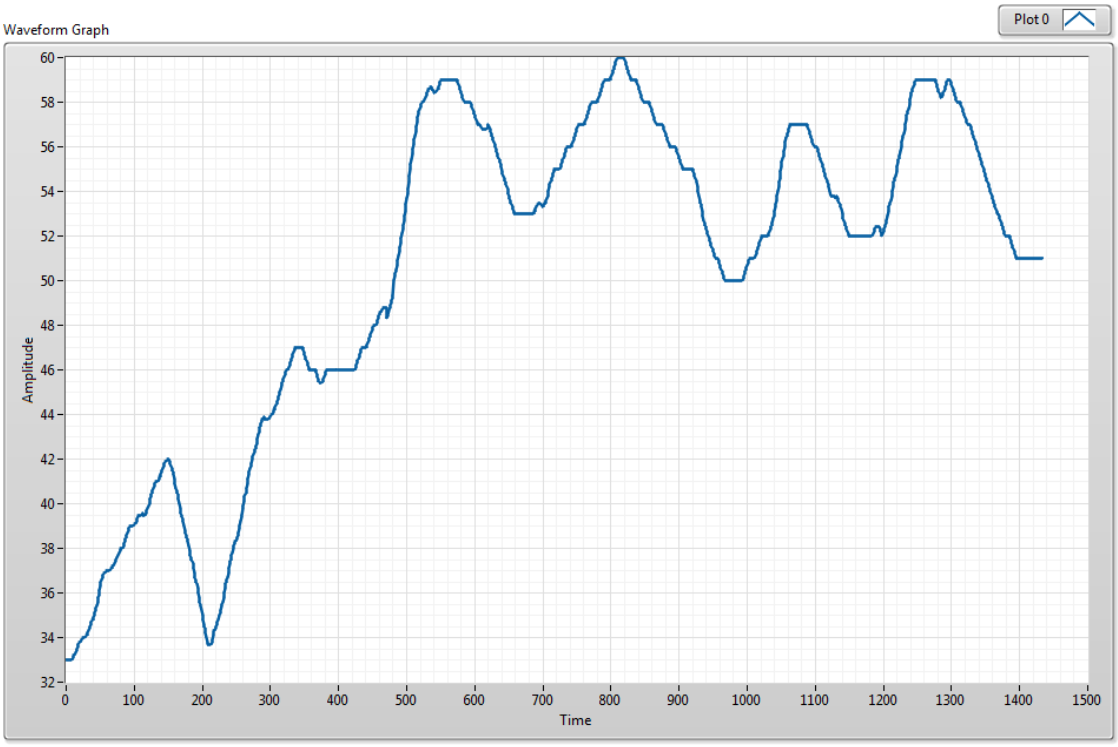


Figura 4.32. Visualización de humedad para proceso de pre fermentación I.

4.2.2.2.2 Prefermentacion 2.

Tabla 4.9. Configuración de humedad para pre fermentación II.

TIEMPO (min.)	SET POINT (%)	RANGO HUMEDAD RELATIVA (%)	HISTÉRESIS (%)
120	75	+72% hasta + 78%	6 %

De acuerdo a lo mostrado en la figura 4.33 y en la tabla 4.9, se puede notar que durante el inicio del proceso de pre fermentación 2 la humedad relativa, crece por encima de los valores establecidos en el proceso, debido básicamente al

incremento que también se debe realizar en la temperatura a pesar de esto, se puede afirmar que durante la mayoría del tiempo del proceso la humedad relativa permanece dentro de la ventana de histéresis, haciendo que el proceso sea totalmente satisfactorio.

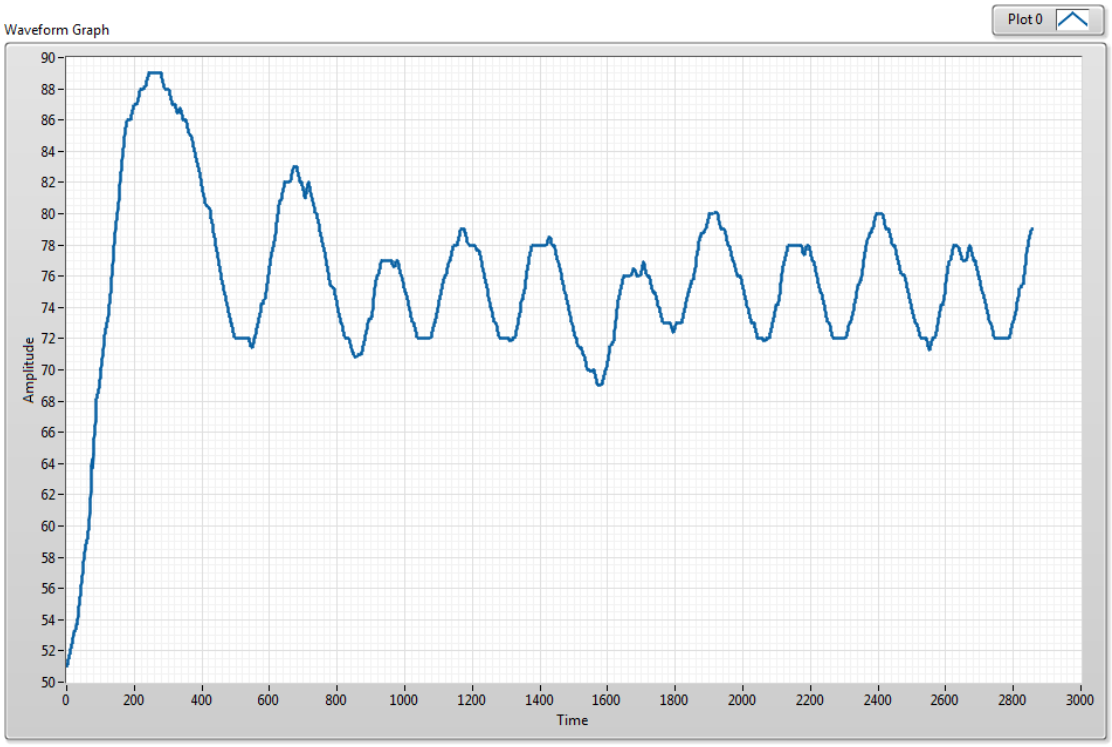


Figura 4.33. Visualización de humedad para proceso de pre fermentación II.

4.2.2.2.3 Fermentación.

Tabla 4.10. Configuración de humedad para fermentación.

TIEMPO (min.)	SET POINT (%)	RANGO HISTÉRESIS (%)	HISTÉRESIS (%)
120	80	+77% hasta + 83%	6 %

Para esta etapa del proceso de acuerdo a la tabla 4.10 y a la figura 4.34 se concluye que de modo general se cumple con el cometido de mantener la humedad relativa dentro de los parámetros configurados. Los incrementos al inicio del proceso se deben a circunstancias anotadas previamente.

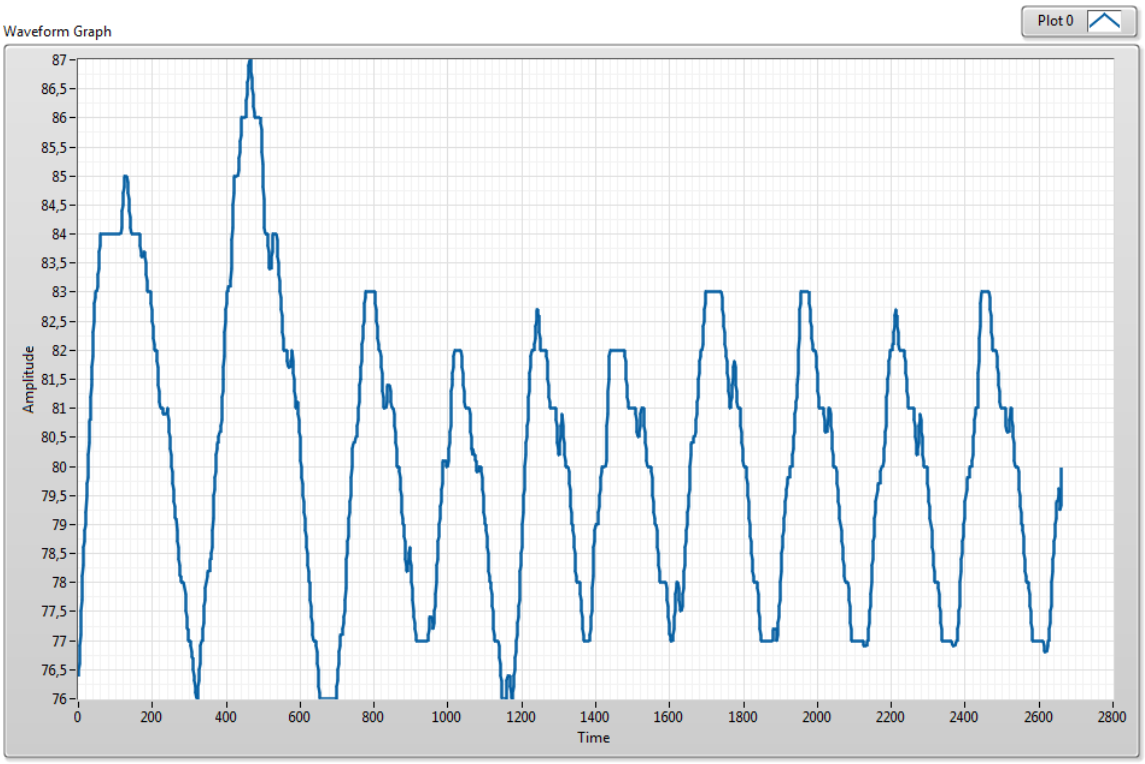


Figura 4. 34. Visualización de humedad para proceso de fermentación.

4.2.2.2.4 Retardo Horneo.

Tabla 4.11. Configuración de humedad para retardo de horneo.

TIEMPO (min.)	SET POINT (%)	RANGO HISTÉRESIS (%)	HISTÉRESIS (%)
120	70	+67% hasta + 73%	6 °C

Según lo mostrado en la tabla 4.11 así como en la figura 4.35 se observa que la humedad relativa tiende a variar al punto que el control del mismo en esta etapa del proceso no es tan conveniente según lo esperado, esto se debe a que existe una variación muy rápida de la temperatura en esta etapa del proceso, este efecto se puede minimizar con una ventana de histéresis muy pequeña especialmente para la temperatura, con lo cual la humedad relativa podrá tender a permanecer dentro de los parámetros deseados.

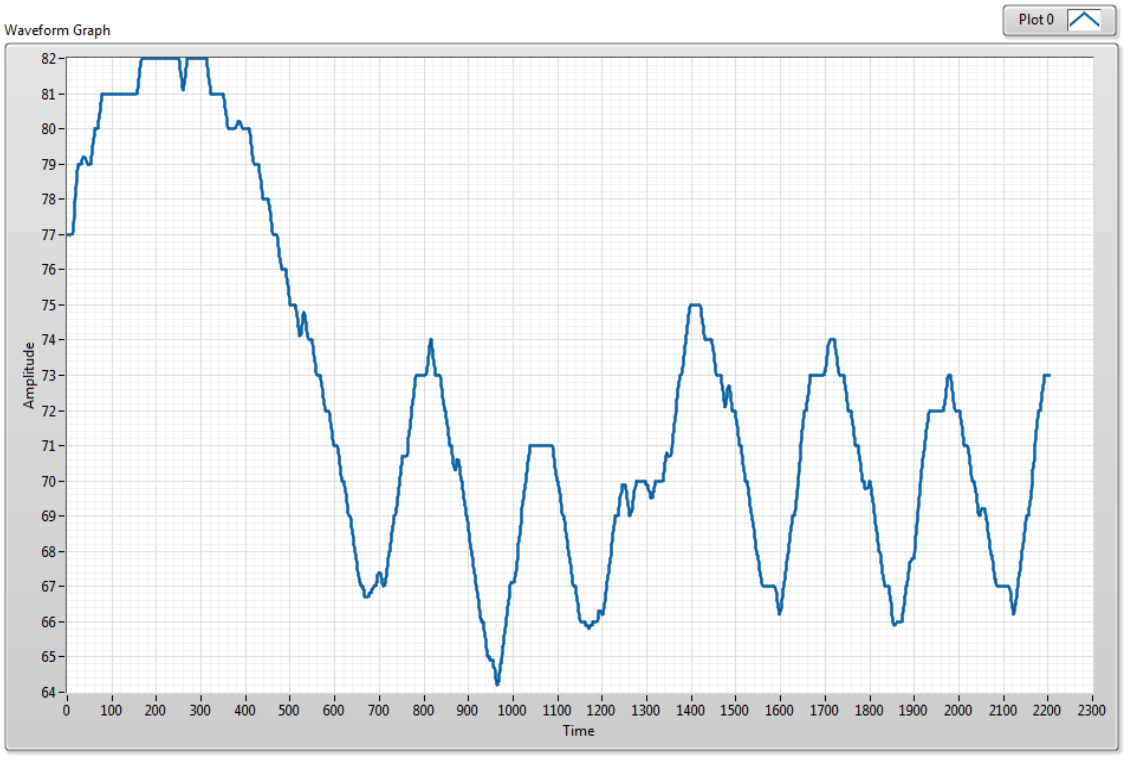


Figura 4.35. Visualización de humedad para proceso de retardo de horneo.

Figura 4.36. Cámara de leudo.

En la figura 4.36 se observa el prototipo de la cámara de leudo que se ha empleado durante el desarrollo de las pruebas para el proceso de leudado de pan. En la figura 4.37 se observa el panel a través del cual se puede programar su operación así como el control del proceso.

Figura 4.37. Panel de control cámara de leudo.

CAPÍTULO 5.

CONCLUSIONES:

- Un microcontrolador que no dispone de muchos periféricos tiene la posibilidad de implementarlos por software lo cual constituye una ventaja, sin embargo la operación del microcontrolador se torna lenta, y el proceso implementado puede presentar muchas imprecisiones, además se debe considerar que la memoria que dispone el microcontrolador sea suficiente según nuestras necesidades.

- Es importante considerar que si bien es cierto, la programación de un algoritmo en lenguaje C se torna más simple que en lenguaje ensamblador, se requiere de un mayor espacio de memoria de programa por parte del microcontrolador.

- Los circuitos micro procesados tienen la posibilidad, de igualar e inclusive de mejorar las prestaciones de un circuito análogo, con una menor cantidad de hardware.

- Los sensores miden una variable física, siendo su salida también del mismo tipo, sin embargo el microcontrolador trabaja con señales digitales, de ahí que se hace necesario el empleo de un dispositivo capaz de digitalizar o muestrear la señal analógica entregada por los sensores, el mismo constituye el CAD.

- El software de simulación provee una gran ventaja, puesto que nos permite corregir errores de funcionamiento del circuito aun cuando no está físicamente implementado el mismo, sin embargo, cuando el algoritmo es relativamente complejo, el tiempo de simulación suele incrementarse, de ahí que para observar un cambio, suele tomar varios minutos, siendo esto una desventaja.

- En la cámara de leudo se programa el tiempo global del proceso, de tal forma que si el usuario programa un tiempo menor a la suma de las etapas parciales que componen todo el proceso de leudado, la cámara informará de esto al

usuario y no se iniciara su funcionamiento hasta que se corrija este error de programación.

- Para el horno a gas es muy importante disponer de un sistema de seguridad que inhiba el paso de gas hacia el quemador en caso de que la llama se extinga, ya que esto podría originar un accidente afectando las instalaciones así como la seguridad de las personas que se encuentran cerca del equipo.

- Para el horno los valores de temperatura pueden alcanzar más de los 255 °C, razón por la cual para su almacenamiento en la memoria EEPROM del microcontrolador se emplean 2 bytes.

- El desarrollo de la electrónica permite resolver problemas y necesidades que plantea la vida moderna, es con esta idea, en este caso particular se busca facilitar los procesos de producción a través de la automatización a estos dos dispositivos, horno y cámara de leudo, muy empleados dentro de la industria alimenticia.

- El diseño electrónico llevado a cabo en la realización de este proyecto servirá de base a fin de desarrollar aplicaciones basadas en microcontroladores, para procesos de panificación.

- A partir del trabajo realizado se puede brindar soluciones destinadas para la industria alimenticia, ya que los procesos de calentamiento y enfriamiento son de los más utilizados dentro de los procesos de producción en las fábricas.

RECOMENDACIONES:

- Es recomendable que el compilador empleado en el desarrollo de un proyecto, no sea uno de prueba, de modo que se disponga de todas o la mayoría de las librerías a emplearse y no exista limitaciones para diseñar los algoritmos.

- Los nombres de las funciones así como de las variables deben siempre ser diferentes, a las que emplea el compilador, caso contrario arrojará fallas, durante el proceso de compilación.

- Se debe tener especial cuidado cuando se realiza el retorno de una subrutina dentro del algoritmo implementado, puesto que si no está lógicamente concatenado se podría entrar en un lazo infinito, provocando el reseteo continuo del microcontrolador.

- A fin de facilitar la realización de un proyecto conviene recurrir a ejemplos disponibles dados por el fabricante o en su defecto a ejemplos disponibles en bibliografía recomendada.

- A fin de mantener un voltaje constante en los puertos de entrada al microcontrolador es recomendable conectar un capacitor electrolítico en paralelo y junto a los pulsadores.

- Con el propósito de mantener almacenados los parámetros modificados de manera permanente, se hace necesario guardarlos en las localidades de la memoria eeprom del microcontrolador, con lo cual a pesar de que la energía sea suspendida, los datos almacenados en la misma se mantendrán inalterables.

- Es recomendable a fin de facilitar la programación del algoritmo de control, emplear etiquetas para los pines del microcontrolador, con lo cual basta cambiar de pin asignado a una etiqueta para cambiar hacia otro pin.

- Resulta conveniente aplicar tareas semejantes a todos los pines de un mismo puerto del microcontrolador, esto con el fin de facilitar tanto la programación del algoritmo, así como su implementación en hardware.

- Para facilitar el proceso de ruteado conviene que el programa empleado disponga de todos los elementos utilizados en el desarrollo del proyecto, caso contrario esto nos traerá la pérdida de tiempo al tener que buscar sustitutos similares, o en su defecto se tendrá que crear nuevos elementos y agregarlos a la librería del programa.

- Dado que los niveles de señal involucrados en la lectura del termopar son pequeños, el ruido puede tener un efecto adverso durante el proceso de lectura, para minimizar este efecto es recomendable colocar un capacitor cerámico de 0.1 µF entre Vcc y GND del MAX31855.

- Se debe evitar colocar dispositivos o componentes que generen calor cerca de MAX31855 porque esto podría producir errores relacionados con la compensación de la juntura fría.

- A fin de mejorar la precisión de la lectura del MAX 31855, es conveniente emplear un termopar con los cables lo más largos posibles a fin de alejar el calor de la zona de medición.

- La respuesta del termistor empleado en la cámara de leudo es lenta, lo cual es recomendable, ya que impedirá que el circuito de refrigeración o calentamiento se accione cuando la puerta de la cámara se abra y se pierde de forma temporal las condiciones establecidas.

- Las paredes de la cámara de leudo así como del horno, procuran ser adiabáticas a fin de evitar la transferencia de calor desde el equipo hasta el medio externo, de modo que cuando se abre la puerta del equipo no tarde en recuperar las condiciones iniciales de proceso.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

[1] Wikipedia.[Online].,

http://es.wikipedia.org/wiki/Calor.

[2] Yánez Jumbo César David «DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA CONTROLADO AUTOMATIZADO PARA MANEJO DE UN HORNO INDUSTRIAL PARA PAN BASADO EN LA APLICACIÓN DE MICROCONTROLADORES PARA LA EMPRESA VALLEJO E HIJOS CIA LTDA» Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, Escuela Politécnica del Ejército, Sangolquí, 2009

[3] William Whitman, William Johnson «TECNOLOGÍA DE LA REFRIGERACIÓN Y AIRE ACONDICIONADO», Tercera Edición, Editorial Paraninfo, 2000.

[4] Wikipedia.[Online].

http://es.wikipedia.org/wiki/Pan.

[5] Scribd. [Online].

http://es.scribd.com/doc/50720033/ESTUDIO-DE-FERMENTACION-CONTROLA

[6] Astudillo Francisco «DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN CONTROL AUTOMÁTICO PARA UNA CÁMARA DE FERMENTACIÓN DE PAN POR MEDIO DE UN AUTÓMATA PROGRAMABLE» Facultad de Ingeniería Mecánica, Escuela Politécnica Nacional, Quito. 2010.

[7] Panisnostrum. [Online].

http://panisnostrum.blogspot.com/2009/10/procesos-horneado.html

[8] slideshare.net [Online].

http://www.slideshare.net/ingenierogildardo/ciclo-de-refrigeracion-por-compresion

[9] Embraco [Online].

http://www.embraco.com/DesktopModules/DownloadsAdmin/Arquivos/O7aPHEzzQu.pdf

[10] Daniel Vaca, «DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DICÁCTICO DE REFRIGERACIÓN BASADO EN UN REFRIGERADOR COMERCIAL», Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2012.

[11] electric1. [Online].

http://www.electric1.es/frigo/frigo.html

[12] qualitas. [Online].

http://www.qualitas.ind.br/ventiladores-balcoes-frigorificos/ventilador-para-balcao-frigorifico-faq8gr.html

[13] spanish.alibaba.com. [Online].

http://spanish.alibaba.com/product-gs/fn-air-cooled-wire-tube-refrigeration-condenser-313695799.html

[14] electricfor.es [Online].

http://www.electricfor.es/es/43324/Resistencias-para-calentamiento-aire.htm

[15] directindustry.es. [Online].

http://www.directindustry.es/prod/besta-ltd/interruptores-nivel-flotador-electromecanicos-11841-53965.html

[16] D-robotics, «DHT11 HUMIDITY & TEMPERATURE SENSOR», Datasheet, 2010.

[17] eurotronix.com. [Online].

http://www.eurotronix.com/noticias/sondas-o-sensores-temperatura-termistores

[18] es.scribd.com. [Online].

http://es.scribd.com/doc/100744966/termistor-termometro

[19] Dallas semiconductor «DS 1307 64 x 8 SERIAL REAL TIME CLOCK», 2008

[20] unicrom.com. [Online].

http://www.unicrom.com/Cmp_estructura1.asp

[21] Microchip, «DATASHEET PIC 18F4620», 2008.

[22] revista ciencias. [Online].

http://www.revistaciencias.com/publicaciones/EEkyyFEkpEELyzhaeW.php

[23] reparaciones. [Online].

http://reparaciones.about.com/od/heatingcoolingrepair/ss/furn_electr_ign_4.htm

[24] resistencias-kgv. [Online].

http://www.resistencias-kgv.com/productos.htm

[25] Creus, Antonio, “INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL”, Marcombo, Sexta Edición, 1998.

[26] MAXIM. «MAX 31855 COLD JUNTION COMPESATED THERMOCUPLE TO DIGITAL CONVERTER», 2011.

[27] dfrobot.com. [Online].

http://www.dfrobot.com/image/data/dfr0076/flamesensor.pdf

[28] cofaco. [Online].

http://www.cofaco.com.ar/detalle.php?id=6

[29] gratis programas. [Online].

http://www.gratisprogramas.org/descargar/megapost-softwares-de-electricidad-y-electronica-fs-mu/

[30] microembebidos.com. [Online].

http://microembebidos.com/2013/05/07/tutorial-msp430-usci_b0-comunicacion-i2c-con-ds1307-y-eeprom/

[31] Reyes, Carlos «MICROCONTROLADORES PIC, PROGRAMACIÓN EN BASIC», Rispergraf Tercera edición, 2008

[32] infdj.com [Online].

http://www.infdj.com/producto/1805/Cable_USB_a_RS_232_VSCOM_1_Port__AM_1xDB9M_.html

[33] GARCIA, Eduardo. “Compilador C CCSy simulador PROTEUS para Microcontroladores PIC”, Marcombo S.A., Primera Edición, 2008.

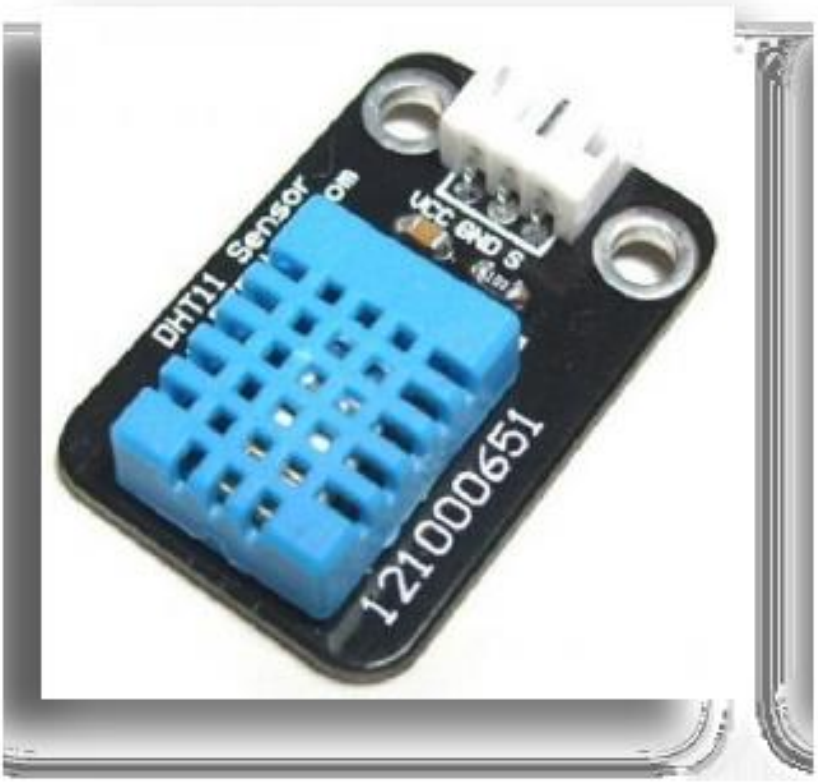
[34] Barnett, Richard; O´cull, Larry. «EMBEDDED C PROGRAMMING AND THE MICROCHIP PIC», Thomson, Primera Edición, 2004.

[35] Parab, Jivan; SHELAKE Vinod, «EXPLORING C FOR MICROCONTROLLERS», Springer Primera Edición, 2007.

ANEXOS.

ESPECIFICACIONES DE LOS DISPOSITIVOS E INTEGRADOS.

ANEXO 1: SENSOR DE HUMEDAD RELATIVA DHT 11.



1. Introduction

This DFRobot DHT11 Temperature & Humidity Sensor features a temperature & humidity sensor complex with a calibrated digital signal output. By using the exclusive digital-signal-acquisition technique and temperature & humidity sensing technology, it ensures high reliability and excellent long-term stability. This sensor includes a resistive-type humidity measurement component and an NTC temperature measurement component, and connects to a high-performance 8-bit microcontroller, offering excellent quality, fast response, anti-interference ability and cost-effectiveness.

Detailed Specifications:

Parameters	Conditions	Minimum	Typical	Maximum
Humidity				
Resolution		1%RH	1%RH	1%RH
			8 Bit	
Repeatability			±1%RH	
Accuracy	25℃		±4%RH	
	0-50℃			±5%RH
Interchangeability	Fully Interchangeable			
Measurement Range	0℃	30%RH		90%RH
	25℃	20%RH		90%RH
	50℃	20%RH		80%RH
Response Time (Seconds)	1/e(63%)25℃, 1m/s Air	6 S	10 S	15 S
Hysteresis			±1%RH	
Long-Term Stability	Typical		±1%RH/year	
Temperature				
Resolution		1℃	1℃	1℃
		8 Bit	8 Bit	8 Bit
Repeatability			±1℃	
Accuracy		±1℃		±2℃
Measurement Range		0℃		50℃
Response Time (Seconds)	1/e(63%)	6 S		30 S

ANEXO 2: SENSOR DE FLAMA.

Technical Data Sheet

Features

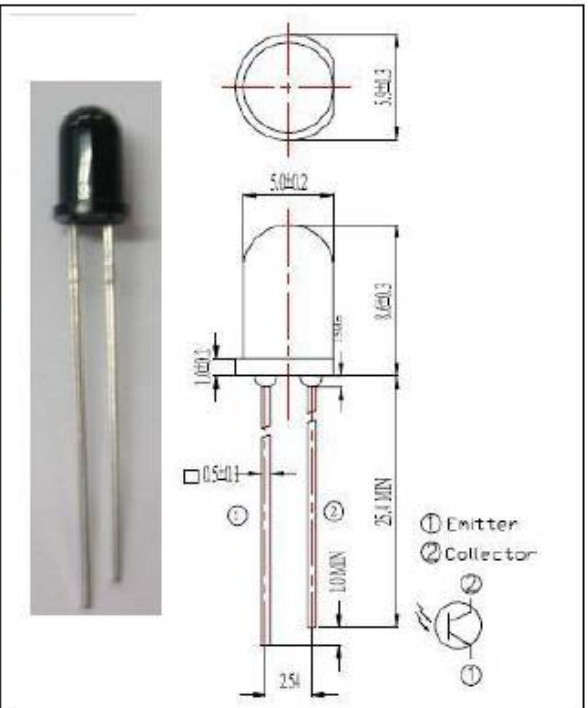
- Fast response tine
- High photo sensitivity
- Pb free
- This product itself will remain within RoHS compliant version.

Descriptions

- YG1006 is a high speed and high sensitive NPNsiicon phototransistor in a standard5mm package.

Dueto its black epoxy the device is sensitive to infrared radiation.

Package Dimensions



Note : 1. All dimensions are in millimeters

2. Tolerances unless dimensions ±0. 25mm

Absoulute Maximum Ratings (Ta=25℃)

Parameter	Symbol	rating	units
Collector-Emitter Voltage	V_{CEO}	30	V
Emitter-Collector-Voltage	V_{ECO}	5	V
Collector Current	Ic	20	mA
Operating Temperature	Topr	-25～+85℃	℃
Storage Temperature	Tstg	-40+85℃	℃
Lead Soldering Temperature	Tsol	260	℃
Power Dissipation at (or below) 25℃ FreeAir Temperature	Pc	75	mW

Electro-Opticai Characteristcs (Ta=25℃)

Parameter	Symbol	Condition	Min.	Typ.	Max.	Units
Collector-Emitter Breakdown Voltage	BV_{CEO}	Ic=100μA Ee=0mW/C ㎡	30	---	---	V
Emitter-Collector Saturation Voltage	BV_{ECO}	IE=100μA Ee=0mW/C ㎡	5	---	---	V
Collector-Emitter Saturation Voltage	$V_{CE(sat)}$	Ic=2mA Ee=1mW/C ㎡	---	---	0.4	V
Rise Time	tf	V_{CE}=5V Ic=1mA RL=1000Ω	---	15	---	μS
Fall Time	tf		---	15	---	
Collector Dark Current	I_{CEO}	Ee=0mW/C ㎡ V_{CE}=20V	---	----	100	nA
On State Collector Current	Ic(on)	Ee=1mW/ C ㎡ V_{CE}=5V	1.77	----	7.07	mA
Wavelength of Peak Sensitivity	λP	---	---	940	---	nm
Rang of Spectral Bandwidth	λ0.5	---	---	760-1100	---	nm

Rankings

Parameter	Symbol	Min	Max	Unit	Test Condition
	Ic(on)			mA	V_{CE}=5V Ee=1mW/ C ㎡
J		1.77	3.61		
K		2.67	5.07		
L		4.18	7.07		

ANEXO 3: MAX 31855

MAX31855

Cold-Junction Compensated Thermocouple-to-Digital Converter

General Description

The MAX31855 performs cold-junction compensation and digitizes the signal from a K, J, N, T, or E type thermocouple. (Contact the factory for S and R type thermocouples.) The data is output in a signed 14-bit, SPI™-compatible, read-only format. This converter resolves temperatures to 0.25°C, allows readings as high as +1800°C and as low as -270°C, and exhibits thermocouple accuracy of ±2°C for temperatures ranging from -200°C to +700°C for K-type thermocouples. For full range accuracies and other thermocouple types, see the *Thermal Characteristics* specifications.

Applications

Industrial
Appliances
HVAC
Automotive

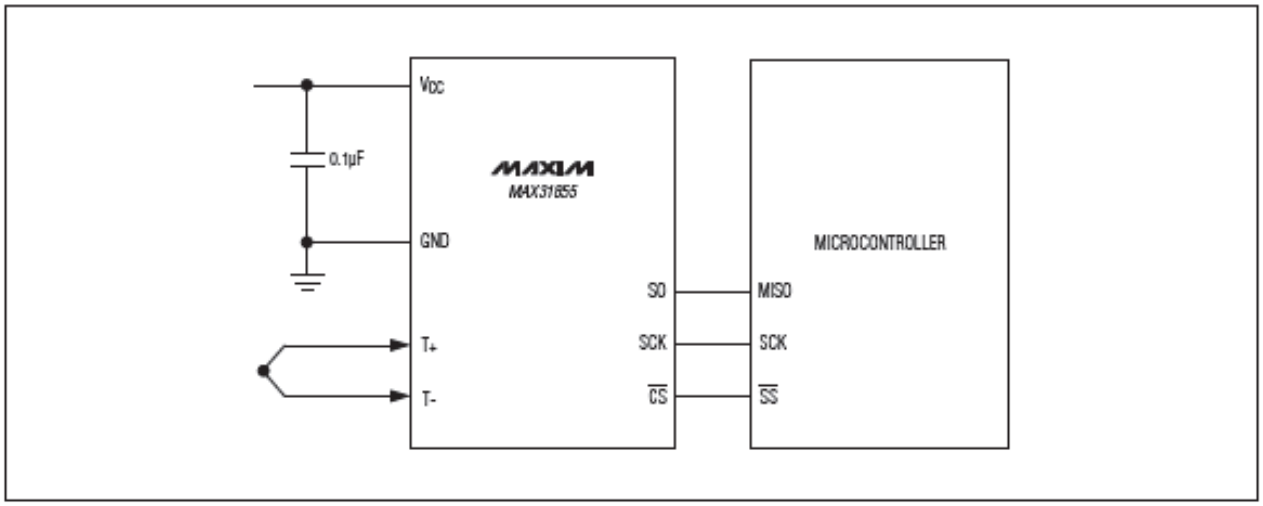
Features

- **Cold-Junction Compensation**
- **14-Bit, 0.25°C Resolution**
- **Versions Available for K, J, N, T, and E Type Thermocouples (Contact Factory for S and R Type Availability) (see Table 1)**
- **Simple SPI-Compatible Interface (Read-Only)**
- **Detects Thermocouple Shorts to GND or VCC**
- **Detects Open Thermocouple**

Ordering Information appears at end of data sheet.

For related parts and recommended products to use with this part, refer to: www.maxim-ic.com/MAX31855.related

Typical Application Circuit



Cold-Junction Compensated Thermocouple-to-Digital Converter

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Supply Voltage Range (V_{CC} to GND).....-0.3V to +4.0V
All Other Pins.....-0.3V to (V_{CC} + 0.3V)
Continuous Power Dissipation (T_A = +70°C)
SO (derate 5.9mW/°C above +70°C).....470.6mW
ESD Protection (All Pins, Human Body Model).....±2000kV

Operating Temperature Range.....-40°C to +125°C
Junction Temperature.....+150°C
Storage Temperature Range.....-65°C to +150°C
Lead Temperature (soldering, 10s).....+300°C
Soldering Temperature (reflow).....+260°C

Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

PACKAGE THERMAL CHARACTERISTICS (Note 1)

SO
Junction-to-Ambient Thermal Resistance (θ_{JA}).....170°C/W
Junction-to-Case Thermal Resistance (θ_{JC}).....40°C/W

Note 1: Package thermal resistances were obtained using the method described in JEDEC specification JESD51-7, using a four-layer board. For detailed information on package thermal considerations, refer to **www.maxim-ic.com/thermal-tutorial**.

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS*

(T_A = -40°C to +125°C, unless otherwise noted.)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Power-Supply Voltage	V_{CC}	(Note 2)	3.0	3.3	3.6	V
Input Logic 0	V_{IL}		-0.3		+0.8	V
Input Logic 1	V_{IH}		2.1		V_{CC} + 0.3	V

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS*

(3.0V ≤ V_{CC} ≤ 3.6V, T_A = -40°C to +125°C, unless otherwise noted.)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Power-Supply Current	I_{CC}			900	1500	µA
Thermocouple Input Bias Current		T_A = -40°C to +125°C, 100mV across the thermocouple inputs	-100		+100	nA
Power-Supply Rejection				-0.3		°C/V
Power-On Reset Voltage Threshold	V_{POR}	(Note 3)		2	2.5	V
Power-On Reset Voltage Hysteresis				0.2		V
Output High Voltage	V_{OH}	I_{OUT} = -1.6mA	V_{CC} - 0.4			V
Output Low Voltage	V_{OL}	I_{OUT} = 1.6mA			0.4	V

ANEXO 4. COSTOS DE ELABORACIÓN MÓDULO ELECTRÓNICO.

CÁMARA DE LEUDO				
ITEM	**DESCRIPCIÓN**	**CANTIDAD**	**P. UNIT.**	**P. TOTAL**
1	Fabricación placa	1	30	30,00
2	Microcontrolador PIC18F4620	1	9,38	9,38
4	Reloj calendario DS1307	1	0,55	0,55
6	Batería 3 V	1	0,7	0,70
7	Resistencias varios valores	30	0,02	0,60
8	Diodos leds varios colores	11	0,12	1,32
9	Cable plano 20 hilos	2	0,44	0,88
10	Zócalo batería	1	0,9	0,90
11	Bornes de 2 pines	20	0,22	4,40
12	Capacitor 100 nF.	20	0,07	1,40
13	Capacitor 15 pF.	4	0,07	0,28
14	Conector moles 10 pines	12	0,71	8,52
15	Relé 5V 6 pines	10	1,01	10,10
16	Porta fusible	1	0,4	0,40
17	Res pack 4,7 KΩ	2	0,26	0,52
18	Fusible 1 A 5X20	1	0,11	0,11
20	Zócalo 40 pines	1	0,2	0,20
21	Sensor DHT 11	1	14,4	14,40
22	Termistor	1	8,65	8,65
23	Micro pulsadores para placa	5	0,15	0,75
24	Reguladores de voltaje, varios valores	3	0,4	1,20
25	Transistor 2N3904	10	0,07	0,70
26	Transformador 110 -12 VAC/ 1Amp	0	2,09	0,00
27	Cristal 4 Mhz.	1	0,5	0,50
28	Cristal 32,768 Khz.	1	0,5	0,50
29	Diodos 1N4007	10	0,04	0,40
30	Pantalla LCD 4X20	1	16,07	16,07
31	Espadín Macho	1	0,35	0,35
32	Puente de diodos	1	0,3	0,30
33	Interruptor	1	1	1,00
34	Desarrollo de programación	1	10	10,00
			TOTAL:	**125,08**

HORNO				
ITEM	**DESCRIPCIÓN**	**CANTIDAD**	**P.UNIT.**	**P.TOTAL.**
1	Fabricación placas	1	30,00	25,00
2	Microcontrolador PIC18F4620	1	9,38	9,38
3	Max 31855	1	13,93	13,93
4	Sensor de llama	1	10,52	10,52
5	Amplificador operacional LM358	3	0,40	1,20
6	Zócalo 8 pines	4	0,08	0,32
7	Reguladores de voltaje varios valores	4	0,40	1,60
8	Potenciómetros de precisión	3	0,44	1,32
9	Cristal 4 Mhz.	1	0,50	0,50
10	Reloj calendario DS1307	1	0,55	0,55
11	Batería 3 V	1	0,70	0,70
12	Resistencias varios valores	30	0,02	0,60
13	Diodos leds varios colores	7	0,12	0,84
14	Cable plano 20 hilos	2	0,44	0,88
15	Zócalo batería	1	0,90	0,90
16	Bornes de 2 pines	20	0,22	4,40
17	Capacitor 100 nF.	20	0,07	1,40
18	Capacitor 15 pF.	4	0,07	0,28
19	Conector moles 10 pines	12	0,71	8,52
20	Relé 5V 6 pines	7	1,01	7,07
21	Porta fusible	1	0,40	0,40
22	Res pack 4,7 KΩ	2	0,26	0,52
23	Fusible 1 A 5X20	1	0,11	0,11
24	Zócalo 8 pines	5	0,08	0,40
25	Zócalo 40 pines	1	0,20	0,20
26	Micro pulsadores para placa	5	0,15	0,75
27	Reguladores de voltaje, varios valores	3	0,40	1,20
28	Transistor 2N3904	7	0,07	0,49
29	Cristal 4 Mhz	1	0,50	0,50
30	Cristal 32,768 Khz	1	0,50	0,50
31	Diodos 1N4007	7	0,04	0,28
32	Pantalla LCD 4X20	1	16,07	16,07
33	Espadín Macho	1	0,35	0,35
34	Puente de diodos	1	0,30	0,30
35	Interruptor	1	1,00	1,00
36	Termopar Tipo J	1	12,5	12,50
37	Desarrollo de programación	1	10,00	10,00
			TOTAL	**125,48**

ANEXO 5. DATASHEET PIC18F4620

PIC18F2525/2620/4525/4620
Data Sheet

28/40/44-Pin
Enhanced Flash Microcontrollers
with 10-Bit A/D and nanoWatt Technology

© 2004 Microchip Technology Inc.

MICROCHIP

PIC18F2525/2620/4525/4620

28/40/44-PinEnhancedFlashMicrocontrollerswith 10-BitA/DandnanoWattTechnology

PowerManagedModes:

- Run:CPU on,peripheralson
- Idle:CPU off,peripheralson
- Sleep:CPU off,peripheralsoff
- Idlemodecurrentsdownto 2.5µAtypical
- Sleepmodecurrentdownto100nAtypical
- Timer1Oscillator:1.8µA,32kHz, 2V
- WatchdogTimer:1.4µA,2Vtypical
- Two-SpeedOscillatorStart-up

FlexibleOscillatorStructure:

- Four Crystalmodes,up to40MHz
- 4x PhaseLockLoop(PLL)–availableforcrystal andinternal oscillators)
- TwoExternalRCmodes,upto4MHz
- TwoExternalClockmodes, upto40MHz
- Internaloscillatorblock:
  - 8userselectablefrequencies,from31kHzto 8MHz
  - Providesacompleterangeofclockspeeds from31kHzto32MHzwhenusedwithPLL
  - Usertunabletocompensateforfrequencydrift
- Secondaryoscillator usingTimer1@ 32kHz
- Fail-SafeClockMonitor
  - Allowsfor safe shutdownif peripheralclockstops

PeripheralHighlights:

- High-currentsink/source25mA/25mA
- Threeprogrammableexternalinterrupts
- Fourinputchangeinterrupts
- Upto2Capture/Compare/PWM(CCP)modules, onewithAuto-Shutdown(28-pindevices)
- EnhancedCapture/Compare/PWM(ECCP) module(40/44-pindevicesonly):
  - One, twoor four PWMoutputs
  - Selectablepolarity
  - Programmabledeadtime
  - Auto-ShutdownandAuto-Restart

PeripheralHighlights(Continued):

- Master SynchronousSerial Port (MSSP)module supporting3-wireSPI™(all4modes)andI^2C™MasterandSlave modes
- Enhanced AddressableUSARTmodule:
  - SupportsRS-485,RS-232andLIN 1.2
  - RS-232operationusinginternal oscillator block(noexternalcrystal required)
  - Auto-Wake-uponStart bit
  - Auto-BaudDetect
- 10-bit,up to13-channel Analog-to-Digital Convertermodule(A/D):
  - Auto-acquisitioncapability
  - Conversionavailableduring Sleep
- Dualanalogcomparatorswithinputmultiplexing
- Programmable16-levelHigh/Low-Voltage Detection(HLVD) module:
  - SupportsinterruptonHigh/Low-VoltageDetection

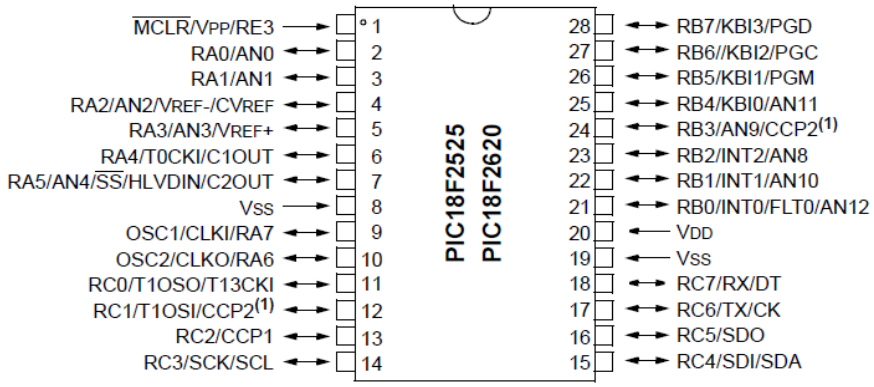
SpecialMicrocontrollerFeatures:

- C compileroptimized architecture:
  - Optionalextendedinstructionsetdesignedtoop timizere-entrantcode
- 100,000erase/writecycle EnhancedFlash programmemorytypical
- 1,000,000erase/writecycleDataEEPROM memorytypical
- Flash/DataEEPROMRetention:100 yearstypical
- Self-programmableundersoftwarecontrol
- Prioritylevelsforinterrupts
- 8x8SingleCycleHardwareMultiplier
- ExtendedWatchdogTimer(WDT):
  - Programmableperiod from4msto131s
- Single-supply5VIn-CircuitSerial Programming™(ICSP™)viatwopins
- In-CircuitDebug (ICD)viatwopins
- Wideoperatingvoltage range:2.0Vto 5.5V
- ProgrammableBrown-outReset(BOR)with

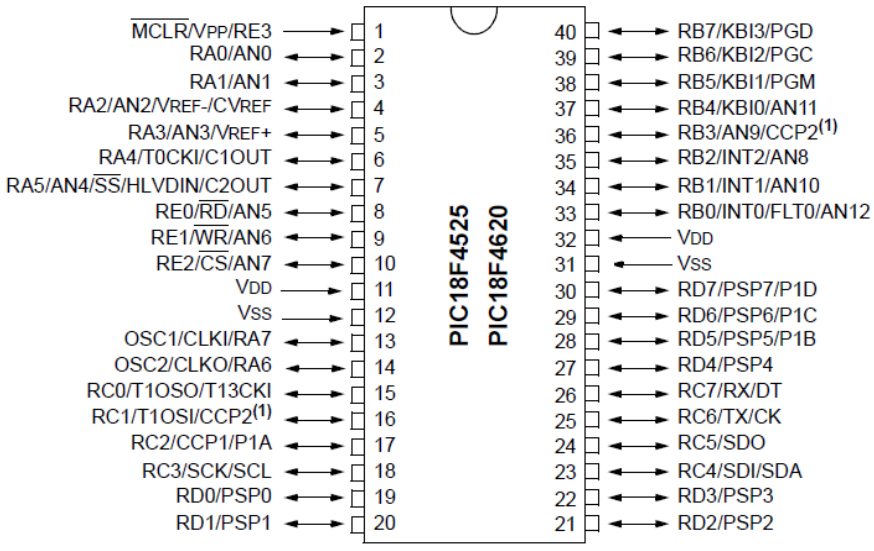
Device	Program Memory		Data Memory		I/O	10-bit A/D (ch)	CCP/ ECCP (PWM)	MSSP		EUSART	Comp.	Timers 8/16-bit
	Flash (bytes)	# Single-Word Instructions	SRAM (bytes)	EEPROM (bytes)				SPI™	Master I^2C™			
PIC18F2525	48K	24576	3986	1024	25	10	2/0	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F2620	64K	32768	3986	1024	25	10	2/0	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F4525	48K	24576	3986	1024	36	13	1/1	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F4620	64K	32768	3986	1024	36	13	1/1	Y	Y	1	2	1/3

Pin Diagrams

28-Pin SPDIP, SOIC



40-Pin PDIP



Note 1: RB3 is the alternate pin for CCP2 multiplexing.

 © 2004 Microchip Technology Inc.