



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN MECATRÓNICA**

TEMA:

**“SISTEMA DE MEDICIÓN DE DENSIDAD DE LECHE PARA CONTROL DE
CALIDAD EN LA RECEPCIÓN DE MATERIA PRIMA DE LA LECHERA
ARTESANAL MARIANITA”**

AUTOR: DIEGO STALYN VALLEJO GARZÓN

DIRECTOR: ING. DIEGO TERÁN

**IBARRA – ECUADOR
2013**



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**

**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DEL CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	0401711429
APELLIDOS Y NOMBRES:	VALLEJO GARZON DIEGO STALYN
DIRECCIÓN:	AV. 17 DE JULIO Y SUBIDA AL ARCANGEL
E-MAIL:	vallejo-diego-@hotmail.com
TELÉFONO MOVIL:	0985897562

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	SISTEMA DE MEDICIÓN DE DENSIDAD DE LECHE PARA CONTROL DE CALIDAD EN LA RECEPCIÓN DE MATERIA PRIMA DE LA LECHERA ARTESANAL MARIANITA
AUTOR:	VALLEJO GARZON DIEGO STALYN
FECHA:	2013/11/01
PROGRAMA:	PREGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERO EN MECATRÓNICA
DIRECTOR:	ING. DIEGO TERÁN

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Diego Stalyn Vallejo Garzón, con cédula de identidad Nro. 0401711429, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en forma digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior, Artículo 144.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Yo, Diego Stalyn Vallejo Garzón, con cédula de identidad Nro. 0401711429, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, Artículos 4,5 y 6, en calidad de autor de la obra o trabajo de grado denominado “Sistema de medición de densidad de leche para control de calidad en la recepción de materia prima de la lechera artesanal Marianita”, que ha sido desarrollada para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato impreso y digital en la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

(Firma) _____

Nombre: Diego Stalyn Vallejo Garzón

Cédula: 0401711429

Ibarra, a los 30 días del mes de octubre del 2013

3. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en la defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 31 días del mes de octubre de 2013

EL AUTOR

(Firma).....

Nombre:.....

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Diego Stalyn Vallejo Garzón, bajo mi supervisión.

Ing. Diego Terán
DIRECTOR DE PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

Primero quiero dar gracias a Dios por ser el que guía mis pasos y permitirme alcanzar estos triunfos y de igual manera a mis padres que han sido los que me han apoyado incondicionalmente en todo momento y gracias a ellos se ha hecho posible este momento, gracias a su infinita paciencia y amor.

DECLARACIÓN

Yo Diego Stalyn Vallejo Garzón, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; y que éste no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional.

A través de la presente declaración cedo los derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Universidad Técnica del Norte, según lo establecido por las Leyes de Propiedad Intelectual, Reglamentos y normatividad vigente de la Universidad Técnica del Norte.

Diego Stalyn Vallejo Garzón

DEDICATORIA

Con todo el amor del mundo este trabajo va dedicado para mis padres, los que me dieron la vida y han velado por mí en todo momento.

ÍNDICE GENERAL

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE	II
AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD	III
CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE	IV
3. CONSTANCIAS	V
CERTIFICACIÓN	VI
AGRADECIMIENTOS	VII
DECLARACIÓN	VIII
DEDICATORIA.....	IX
ÍNDICE GENERAL	X
ÍNDICE DE FIGURAS	XIV
ÍNDICE DE TABLAS	XV
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	XVI
LISTA DE SIGLAS	XVII
RESUMEN	XVIII
ABSTRACT	XIX
PRESENTACIÓN	XX
CAPÍTULO I	21
1 MARCO TEÓRICO.....	21
1.1. DEFINICIÓN DE LA LECHE	21
1.2. CARACTERÍSTICAS ORGANOLEPTICAS.....	21
1.2.1. ASPECTO	21
1.2.2. OLOR	21
1.2.3. SABOR.....	22
1.3. PROPIEDADES FÍSICAS DE LA LECHE	22
1.3.1. DENSIDAD.....	22
1.3.2. PH DE LA LECHE	22
1.3.3. ACIDEZ DE LA LECHE	23
1.3.4. VISCOCIDAD	23
1.3.5. PUNTO DE CONGELACIÓN	23
1.3.6. PUNTO DE EBULLICIÓN.....	23
1.3.7. CALOR ESPECÍFICO	23
1.4. ANÁLISIS Y CONTROL DE LA LECHE	24
1.4.1 DENSIDAD.....	24
1.4.2. GRASA.....	24
1.4.3. SÓLIDOS NO GRASOS.....	24
1.4.4. PRUEBA DE LA EBULLICIÓN	24
1.4.5. ENSAYO DE CONSERVACIÓN	25
1.4.6. PRUEBA DE ACIDEZ.....	25
1.4.7. PRUEBA DEL ALCOHOL.....	25

1.5. COMPOSICIÓN DE LA LECHE	25
1.5.1. GRASA.....	26
1.5.2. LACTOSA.....	26
1.5.3. ENZIMAS	26
1.5.4. MINERALEZ.....	27
1.5.5. VITAMINAS	27
1.6. FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA COMPOSICIÓN DE LA LECHE ...	28
1.6.1. CICLO DE LACTANCIA	28
1.6.2. INCIDENCIA DE LA ALIMENTACIÓN.....	28
1.6.3. INCIDENCIA CLIMÁTICA.....	28
1.6.4. INCIDENCIA DE LA RAZA.....	29
1.7. RECOLECCIÓN TRANSPORTE Y RECEPCIÓN	29
1.7.1 RECOLECCIÓN	29
1.7.2. TRANSPORTE	29
1.7.3. RECEPCIÓN.....	30
1.8. PROCESO DE PASTEURIZACIÓN	30
1.8.1. PASTEURIZACIÓN LENTA	31
1.8.2. PASTEURIZACIÓN RÁPIDA.....	31
1.8.3. PASTEURIZACIÓN DE LA LECHE PARA QUESOS.....	32
1.9. ELABORACIÓN DE QUESOS	32
1.9.1. LECHE PARA LA ELABORACIÓN DE QUESOS	33
1.9.1.1. Naturaleza físico-químico	33
1.9.1.2. Contenido de proteína coagulable.....	33
1.9.1.3. Capacidad para coagular por acción del coagulante.....	33
1.9.1.4. Presencia de sustancia inhibidoras.	33
1.9.1.5. Las leches para quesería deben tener pocos microorganismos.	34
1.9.2. COAGULACIÓN DE LA LECHE.....	34
1.9.2.1. Coagulación ácida:.....	34
1.9.2.2. Coagulación enzimática (por acción del cuajo).....	34
1.9.3. CORTE DE CUAJADA Y DESUERO	35
1.9.4. SALADO.....	35
1.9.5. MOLDEO Y PRENSADO	36
1.10. INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN LA LECHE.....	36
1.10.1. CAMBIOS EN LA GRASA DE LA LECHE	36
1.10.2. CAMBIOS EN LA LACTOSA	36
1.10.3. CAMBIOS EN LAS PROTEÍNAS	36
1.10.4. CAMBIOS EN LAS ENZIMAS	37
1.10.5. CAMBIOS EN LAS VITAMINAS.....	37
1.10.6. INFLUENCIA SOBRE LOS MICROORGANISMOS.....	37
1.11. ONDAS SONORAS.....	37
1.11.1. ELEMENTOS DE UNA ONDA	38
1.11.1.1Periodo y frecuencia.....	39

1.11.1.2 Frecuencia.....	39
1.11.1.3. Amplitud	39
1.11.2. CLASIFICACIÓN SEGÚN SU FRECUENCIA	39
1.11.2.1. ONDAS AUDIBLES.....	39
1.11.2.2. ONDAS INFRASÓNICAS.....	39
1.11.2.3. ONDAS ULTRASÓNICAS.....	39
1.11.3. INTENSIDAD Y POTENCIA DEL SONIDO	40
1.12. SENSORES	43
1.12.1. TRANSDUCTOR.....	43
1.12.2. TRANSDUCTOR PIEZOELÉCTRICO.....	44
1.12.3. CARACTERÍSTICAS DE UN SENSOR.....	45
1.12.4. RESOLUCIÓN Y PRECISIÓN.....	46
1.12.5. SENSORES DE ULTRASONIDO.....	46
1.12.5.1. Sensor SRF04.....	47
1.12.6. SENSORES DE TEMPERATURA.....	50
1.12.6.1. Termocupla	50
1.12.6.2. Resistencias detectoras de temperatura (RTD)	51
1.12.6.3. Termistor	53
CAPÍTULO II.....	55
2. DISEÑO DEL SISTEMA DE MEDICIÓN DE LA DENSIDAD	55
2.1 INTRODUCCIÓN	55
2.2. SENSOR DE ULTRASONIDO	56
2.2.1. TRANSMISOR	57
2.2.2. RECEPTOR	59
2.3. SENSOR DE TEMPERATURA	61
2.3.1. Selección del sensor de temperatura.....	61
2.4. MICROCONTROLADOR.....	66
2.4.1. SELECCIÓN DE MICROCONTROLADOR.....	66
2.4.2. DIAGRAMA DE FLUJO	67
2.4.3. SUBROUTINA MEDIR	68
2.4.3.1. Medición de la densidad.....	69
2.4.3.2. Cálculo de amplitud a través del canal analógico.....	71
2.4.3.3. Compensación debido a la temperatura.....	72
2.4.4. SUBROUTINA ACEPTAR RECHAZAR	73
2.5. VISUALIZACIÓN DE DATOS.....	74
2.6. ACTUADORES	74
CAPÍTULO III.....	75
3. ELABORACIÓN DEL SISTEMA DE MEDICIÓN DE DENSIDAD DE LA LECHE.....	75
3.1. PANEL DE CONTROL	75
3.1.1. BOTONES DEL PANEL DE CONTROL.....	75
3.1.2. CIRCUITO Y PLACA DEL PANEL DE CONTROL.....	76
3.1.3. PLACAS DE POTENCIA.....	81

3.2. UBICACIÓN DE TRANSDUCTORES	83
3.3. ESTRUCTURA DE SOPORTE	84
3.4. CABLEADO	85
CAPÍTULO IV	88
4. CALIBRACIÓN DEL SISTEMA	88
4.1. ANÁLISIS Y CORRECICÓN DE ERRORES	88
4.1.1 ANÁLISIS DE LA TEMPERATURA	89
4.1.2 ANÁLISIS DE LA DENSIDAD	92
4.2. ANÁLISIS COSTO - BENEFICIO	96
CAPÍTULO V	98
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	98
ANEXOS	102
ANEXO1	
MANUAL DE USUARIO	103
1. ALIMENTACIÓN	103
2. LOCALIZACIÓN DE CONTROLES.....	104
3. DESCRIPCIÓN DE FUNCIONES	105
4. SEGURIDAD DEL SISTEMA	108
ANEXO 2: HOJA DE DATOS DEL DRIVER L293D	109
ANEXO 3: HOJA DE DATOS MICROCONTROLADOR PIC 18F4550	112
ANEXO 4: PANEL DE CONTROL Y ANÁLISIS DE ONDAS	114
ANEXO 5: MEDIDOR DE DENSIDAD MILKOTESTER UTILIZADO PARA LA CALIBRACIÓN.....	115
ANEXO 6:HOJA DE DATOS DEL SENSOR DE TEMPERATURA NTC.....	117

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1 ONDAS SONORAS.....	38
FIGURA 1.2 ELEMENTOS DE UNA ONDA	39
FIGURA 1.3 TRANSDUCTOR.....	44
FIGURA 1.4 TIEMPOS DE SRF04.....	47
FIGURA 1.5 ETAPA DE CONTROL DEL TRANSMISOR DE ULTRASONIDO.....	48
FIGURA 1.6 SEÑAL OBTENIDA DEL RECEPTOR	48
FIGURA 1.7 AMPLIFICACIÓN DE LA SEÑAL DE ECO.....	49
FIGURA 1.8 CIRCUITO DEL SENSOR SRF04.....	50
FIGURA 1.9 TERMOCUPLA.....	50
FIGURA 1.10 SENSORES DE TEMPERATURA.....	51
FIGURA 1.11 RTD.....	51
FIGURA 1.12 SONDAS DE PLATINO	52
FIGURA 1.13 TERMISTORES.....	53
FIGURA 2.1 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA	55
FIGURA 2.2 TRANSDUCTORES DE ULTRASONIDO.....	56
FIGURA 2.3 CIRCUITO TRANSMISOR.....	59
FIGURA 2.4 DIVISOR DE VOLTAJE.....	60
FIGURA 2.5 CIRCUITO DE RECEPCIÓN DE LA SEÑAL.....	61
FIGURA 2.6 SENSOR DE TEMPERATURA.....	62
FIGURA 2.7 ECUACIÓN CARACTERISTICA DE NTC.....	63
FIGURA 2.8 DIVISOR DE VOLTAJE.....	63
FIGURA 2.9 CIRCUITO PARA EL SENSOR DE TEMPERATURA.....	64
FIGURA 2.10 DIAGRAMA DE FLUJO DEL MEDIDOR DE DENSIDAD.....	67
FIGURA 2.11 SUBROUTINA MEDIR.....	68
FIGURA 2.12 RELACIÓN ENTRE EL ÁREA DE LA ESFERA Y EL ÁREA DEL CÍRCULO.....	69
FIGURA 2.13 SUBROUTINA ACEPTAR.....	74
FIGURA 2.14 SUBROUTINA RECHAZAR.....	74
FIGURA 3.1 PANEL DE CONTROL.....	76
FIGURA 3.2 CIRCUITO DEL MEDIDOR DE DENSIDAD.....	77
FIGURA 3.3 PLACA DEL MEDIDOR DE DENSIDAD.....	78
FIGURA 3.4 CONEXIÓN DE CN1.....	79
FIGURA 3.5 CONEXIÓN DE CN2.....	79
FIGURA 3.6 CONEXIÓN DE CN5.....	80

FIGURA 3.7 CONEXIÓN DE CN6.....	80
FIGURA 3.8 CIRCUITO IMPRESO DEL MEDIDOR DE DENSIDAD.....	81
FIGURA 3.9 CIRCUITO PARA ACCIONAMIENTO DE ELECTROVÁLVULAS.....	81
FIGURA 3.10 PLACA DE POTENCIA.....	82
FIGURA 3.11 CIRCUITO IMPRESO DE PLACA DE POTENCIA.....	82
FIGURA 3.12 ORIFICIO PARA SENSOR DE ULTRASONIDO.....	83
FIGURA 3.13 ORIFICIO PARA SENSOR DE TEMPERATURA.....	83
FIGURA 3.14 ORIFICIO PARA DESCARGA DE LECHE.....	84
FIGURA 3.15 ESTRUCTURA DE SOPORTE.....	85
FIGURA 4.1 ESPECIFICACIONES DEL MEDIDOR MILKOTESTER.....	88
FIGURA 4.2 ANÁLISIS DE ERROR DE MEDICIÓN DE TEMPERATURA.....	89
FIGURA 4.3 FUNCIÓN PARA COMPENSAR LA MEDICIÓN DE TEMPERATURA....	90
FIGURA 4.4 TEMPERATURA COMPENSADA.....	91
FIGURA 4.5 ERROR DE DENSIDAD.....	94
FIGURA 4.6 AJUSTE DE CURVAS PARA LA DENSIDAD.....	94
PANEL DE CONTROL.....	104
SENSORES.....	104

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 2.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS SENSORES US1440.....	56
TABLA 2.2 SENSORES DE TEMPERATURA.....	61
TABLA 2.3 MICROCONTROLADORES.....	66
TABLA 3.1 CONSUMO DE ENERGÍA DEL SISTEMA.....	85
TABLA 4.1 DATOS DE LECTURAS REALIZADAS.....	89
TABLA 4.2 MEDICIÓN DE TEMPERATURA.....	91
TABLA 4.3 CÁLCULO DE ERROR EN LA MEDICIÓN DE TEMPERATURA.....	92
TABLA 4.4 MEDICIÓN DE DENSIDAD.....	92
TABLA 4.5 MEDICIÓN DE DENSIDAD.....	93
TABLA 4.6 MEDICIÓN DE DENSIDAD CON MUESTRAS ADULTERADAS.....	93
TABLA 4.7 MEDICIÓN DE DENSIDAD CON MUESTRAS ADULTERADAS.....	95
TABLA 4.8 MEDICIÓN DE DENSIDAD CON MUESTRAS ADULTERADAS.....	95
TABLA 4.9 PÉRDIDAS POR AGUADO DE LECHE.....	96

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1.1 INTENSIDAD DEL SONIDO.....	40
Ecuación 1.2 INTENSIDAD DEL SONIDO PARA UNA ONDA PLANA.....	41
Ecuación 1.3 SUPERFICIE DE UNA ESFERA.....	42
Ecuación 1.4 POTENCIA SONORA.....	42
Ecuación 1.5 RELACIÓN ENTRE POTENCIA E INTENSIDAD SONORA.....	42
Ecuación 1.6 RELACIÓN ENTRE POTENCIA, PRESIÓN Y DENSIDAD.....	43
Ecuación 2.1 PERIODO.....	57
Ecuación 2.2 CÁLCULO DE PWM.....	57
Ecuación 2.3 CICLO DUTY DE PWM.....	58
Ecuación 2.4 DIVISOR DE VOLTAJE.....	60
Ecuación 2.5 DIVISOR DE VOLTAJE.....	60
Ecuación 2.6 LEY DE OHM.....	64
Ecuación 2.7 VOLTAJE NTC.....	65
Ecuación 2.8 RESISTENCIA NTC.....	65
Ecuación 2.9 RESISTENCIA NTC EN FUNCIÓN DEL ADC.....	65
Ecuación 2.10 ECUACIÓN DE TEMPERATURA.....	65
Ecuación 2.11 FACTOR DE CORRECCIÓN.....	69
Ecuación 2.13 DENSIDAD.....	70
Ecuación 2.14 CÁLCULO DE DENSIDAD.....	70
Ecuación 2.15 RESOLUCIÓN DEL CONVERTOR ANÁLOGO DIGITAL.....	71
Ecuación 2.16 VELOCIDAD DEL SONIDO EN UN LÍQUIDO.....	72
Ecuación 3.1 POTENCIA DEL SISTEMA.....	86
Ecuación 4.1 ERROR PORCENTUAL.....	91

LISTA DE SIGLAS

AC: Corriente alterna.

ADC: Conversor análogo digital.

AWG: Calibre de alambre Estadounidense

CD: Corriente directa.

CO₂: Dióxido de carbono.

HTST: Alta temperatura corto tiempo.

H₂SO₄: Ácido sulfúrico.

NaOH: Hidróxido de sodio.

NTC: Coeficiente de temperatura negativo.

PH: Potencial Hidrógeno.

PWM: Modulación por ancho de pulso.

RMS: Raíz cuadrada media.

RTD: Resistencia detectora de temperatura.

TTL: Lógica transistor a transistor

°C: grados centígrados.

SISTEMA DE MEDICIÓN DE DENSIDAD DE LECHE PARA CONTROL DE CALIDAD EN LA RECEPCIÓN DE MATERIA PRIMA DE LA LECHERA ARTESANAL MARIANITA

Autor: Diego Vallejo

Tutor: Ing. Diego Terán

RESUMEN

El trabajo que se detalla a continuación, se fundamenta en la importancia del sector de la ganadería, enfocado en la producción de leche, siendo esta una actividad que se ha venido desarrollando constantemente. Tomando en consideración que la leche se ha convertido en un elemento fundamental en la elaboración de productos alimenticios, por este motivo es importante llevar un estricto control de calidad durante el proceso de producción. El objetivo del proyecto consiste en el diseño y elaboración de un sistema de control de calidad de leche a través de la medición de densidad, para lo cual se detalla el proceso de elaboración de quesos, las características más importantes de la leche y el método utilizado para realizar la medición de la densidad por medio de ultrasonido, puesto que es un método no invasivo y muy práctico. El sensor se basa en transductores piezoeléctricos que junto con un microcontrolador forman la parte medular del proyecto, consistiendo en el lugar donde se procesan las señales y se mide la densidad de la leche para determinar su aceptación.

DENSITY MEASUREMENT SYSTEM OF MILK FOR QUALITY CONTROL OF RAW MATERIAL RECEIPT OF THE TRADITIONAL DAIRY MARIANITA

Author: Diego Vallejo

Tutor: Ing. Diego Terán

ABSTRACT

The work described below is based on the importance of the livestock sector, focused on the production of milk, being this an activity that has been constantly developing. Considering that milk has become a key element in the manufacture of food products, for that reason, it is important to have a strict quality control during the production process. This Project aims to design and development of a quality control system of milk through the measurement of density, for which it is detailed the process of making cheese, the most important characteristics of the milk and the method used for measurement of density by ultrasound, because it is a noninvasive and convenient method. The sensor is based on piezoelectric transducers that next to a microcontroller forms the main part of the design, consisting of where the signals are processed and the density is measured to determine the milk acceptance.

PRESENTACIÓN

En el presente estudio que lleva por título “Sistema de medición de densidad de leche para control de calidad en la recepción de materia prima de la lechera artesanal Marianita” se presenta una solución rápida y económica al frecuente problema que tienen las empresas recolectoras de leche, como lo es el aguado de leche, mismo que ocasiona grandes pérdidas económicas, por dos razones, primero, la lechera artesanal Marianita ha venido pagando un valor por un producto de mala calidad y en segundo lugar existe una disminución de la producción por la pérdida de materia prima.

Dentro del proceso de elaboración de quesos u otros derivados es importante tener un control de calidad de la leche que se adquiere desde los diferentes proveedores, ya que así se obtendrá un mejor producto final y con mayores oportunidades de competir en el mercado. Además se pueden abaratar costos y con un mismo volumen de leche obtener un mayor número de quesos u otros derivados.

El sistema además tiene la ventaja de poder trabajar en modo automático o manual. En modo automático el sistema tomará la decisión de permitir el ingreso de la leche al proceso de producción o en caso contrario de rechazarla y enviarla a un depósito para ser devuelta al proveedor. En modo manual el sistema medirá la densidad de la leche y el operador podrá decidir si la recibe o la rechaza, a través de un panel de control. En éste se indicará la densidad de la leche y se podrá manipular los botones para aceptar o rechazar.

Además se dispone de un sistema de calibración para el correcto funcionamiento de todo el sistema y la modificación de los estándares de calidad que desea manejar.

Con la implementación del dispositivo se controla de manera fácil y eficiente la calidad de leche, evitando problemas y pérdidas dentro del proceso de producción debido a la presencia de lácteos de mala calidad, siendo beneficiado tanto el productor de quesos como el consumidor final.

CAPÍTULO I

1 MARCO TEÓRICO

1.1. DEFINICIÓN DE LA LECHE

“La leche es un líquido blanquecino segregado por las glándulas mamarias de las hembras de los mamíferos tras el nacimiento de las crías, tiene un alto valor nutritivo en especial la leche de vaca, por ello constituye uno de los productos más comercializados para el consumo humano” (Nasanovsky, Garijo, & Kimmich, 2012).

La leche de vaca constituye la materia prima con la cual se elaboran numerosos productos lácteos como: la mantequilla, el queso y el yogurt. Llegando a formar parte importante de la economía de diferentes zonas del país, que se dedican exclusivamente a la ganadería para la comercialización de leche y esto a su vez genera la necesidad de fábricas que procesen la materia prima para obtener los diferentes derivados, principalmente el queso.

1.2. CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS

1.2.1. ASPECTO

“La leche fresca es de color blanco aporcelanada, presenta una cierta coloración crema cuando es muy rica en grasa. La leche descremada o muy pobre en contenido graso presenta un blanco con ligero tono azulado” (Nasanovsky, 2012).

1.2.2. OLOR

“Cuando la leche es fresca casi no tiene un olor característico, pero adquiere con mucha facilidad el aroma de los recipientes en los que se la guarda, una pequeña acidificación le da un olor especial al igual que ciertos contaminantes” (Nasanovsky, 2012).

1.2.3. SABOR

La leche fresca tiene un sabor ligeramente dulce, dado por su contenido de lactosa. Por contacto, puede adquirir fácilmente el sabor de hierbas.

1.3. PROPIEDADES FÍSICAS DE LA LECHE

1.3.1. DENSIDAD

“La densidad de la leche puede fluctuar entre 1.028 a 1.034 g/cm³ a una temperatura de 15°C” (Nasanovsky, 2012).

La densidad de la leche está relacionada directamente con los elementos que la constituyen es decir depende de la concentración que exista de cada uno de ellos.

- Agua: 1.000 g/cm³.
- Grasa: 0.931 g/cm³.
- Proteínas: 1.346 g/cm³.
- Lactosa: 1.666 g/cm³.
- Minerales: 5.500 g/cm³.

“La densidad mencionada (entre 1.028 y 1.034 g/cm³) es para una leche entera, pues la leche descremada está por encima de esos valores (alrededor de 1.036 g/cm³), mientras que una leche aguada tendrá valores menores de 1.028 g/cm³” (Nasanovsky, 2012).

1.3.2. PH DE LA LECHE

“La leche es de característica cercana a la neutra. Su pH puede variar entre 6.5 y 6.65. Valores distintos de pH se producen por deficiente estado sanitario de la glándula mamaria, por la cantidad de CO₂ disuelto; por el desarrollo de microorganismos, que desdoblan o convierten la lactosa en ácido láctico; o por la acción de microorganismos alcalinizantes” (Durán Ramírez & Felipe Durán Ramírez, 2003).

1.3.3. ACIDEZ DE LA LECHE

Una leche fresca posee una acidez de 0.15 a 0.16%. Esta acidez se debe en un 40% a microorganismos, otro 40% al aporte de la acidez de las sustancias minerales, CO₂ disuelto y acidez orgánicos; el 20% restante se debe a las reacciones secundarias de los fosfatos presentes.

Una acidez menor al 15% puede ser debido a la mastitis, al aguado de la leche o bien por la alteración provocada con algún producto alcalinizante. Una acidez superior al 16% es producida por la acción de contaminantes microbiológicos. (Nasanovsky, 2012)

1.3.4. VISCOCIDAD

Según Nasanovsky (2012). La leche natural, fresca, es más viscosa que el agua, tiene valores entre 1.7 a 2.2 centipoise para la leche entera, mientras que una leche descremada tiene una viscosidad de alrededor de 1.2 cp. La viscosidad disminuye con el aumento de la temperatura hasta alrededor de los 70°C, por encima de esta temperatura aumenta su valor.

1.3.5. PUNTO DE CONGELACIÓN

El valor promedio es de -0.54°C (varía entre -0.513 y -0.565°C). Como se aprecia es menor a la del agua, y es consecuencia de la presencia de las sales minerales y de la lactosa. “Las variaciones superiores indican aguado de la leche” (Badui Dergal, 2006).

1.3.6. PUNTO DE EBULLICIÓN

“La temperatura de ebullición es de 100.17°C” (Nasanovsky, 2012).

1.3.7. CALOR ESPECÍFICO

“La leche completa tiene un valor de 0.93 - 0.94 cal/g°C, la leche descremada 0.94 a 0.96 cal/g°C” (Nasanovsky, 2012).

1.4. ANÁLISIS Y CONTROL DE LA LECHE

Los análisis son útiles, no solo para establecer la composición de la leche, sino también para conocer su grado higiénico, su estado microbiano y su capacidad de conservación. Las principales pruebas o ensayos que se hacen son los siguientes:

1.4.1. DENSIDAD

Se utiliza un densímetro y es útil para establecer la posibilidad de adulteración con agua, siendo también utilizada para determinar el descremado.

1.4.2. GRASA

“Se realiza en un butirómetro, utilizándose como solución reactiva H_2SO_4 (ácido sulfúrico) y alcohol amílico, se hace para la determinación de grasa, siendo importante pues en muchas partes se paga por el contenido de este componente” (Nasanovsky, 2012).

1.4.3. SÓLIDOS NO GRASOS

Se hace utilizando un horno de secado, pudiendo realizarse como ensayo complementario en la determinación de leches aguadas y descremadas.

1.4.4. PRUEBA DE LA EBULLICIÓN

“Se basa en el hecho que la leche cuaja cuando llega a su punto de ebullición cuando su acidez es superior al 24%. Para hacer este ensayo se coloca 5 ml. de leche en un tubo de ensayo y a baño María a 100°C. Si se observa precipitación, significa que la acidez es mayor que 24% (es decir, la leche se “corta” por exceso de acidez)” (Nasanovsky, 2012).

1.4.5. ENSAYO DE CONSERVACIÓN

Se hace utilizando la prueba de ebullición vista anteriormente. Se coloca la leche a 18°C y se determina el tiempo que pasa hasta que cuaje por la prueba de ebullición la cual se va haciendo periódicamente.

1.4.6. PRUEBA DE ACIDEZ

Se hace por titulación de la leche con hidróxido de sodio, usándose como indicador solución de fenolftaleína en alcohol y con pH 6 y 7. Hay distintas formas de hacer las titulaciones: variando la solución normalizada de NaOH (hidróxido de sodio), la cantidad de leche; así se tienen resultados distintos según sea los métodos o maneras de titular, por ejemplo: grados Dornic, grados Soxhlet Hemkel, grados Thorner, etc. (Nasanovsky, 2012)

1.4.7. PRUEBA DEL ALCOHOL

“Si una leche tiene una acidez mayor del 21% coagula si se mezclan volúmenes iguales de leche y alcohol neutro al 68%”(Nasanovsky, 2012). Esta es una prueba muy utilizada en los tanques de recepción debido a su fácil aplicación.

“Es útil para determinar la estabilidad de la leche en el proceso de evaporación y de la esterilización. Es una prueba muy rápida pero no tan precisa, pues induce a errores si la leche tiene alto contenido de calcio y magnesio o fosfatos o citratos” (Nasanovsky, 2012).

1.5. COMPOSICIÓN DE LA LECHE

La leche es un líquido de composición compleja, se puede aceptar que está formada aproximadamente por un 87.5% de agua.

El agua es el soporte de los componentes sólidos de la leche y se encuentra presente en dos estados: como agua libre que es la mayor parte y como agua absorbida en la superficie de los componentes.

En lo que se refiere a los sólidos o materia seca la composición porcentual más comúnmente hallada es la siguiente:

- Materia grasa (lípidos): 3.5% a 4.0%
- Lactosa: 4.7% (aprox.)
- Sust. Nitrogenadas: 3.5% (proteínas entre ellos)
- Minerales: 0.8%

A pesar de estos porcentajes en la composición de la leche se acepta como los más comunes, no es fácil precisar con certeza los mismos, pues dependen de una serie de factores, aun para una misma vaca. No solo varía la composición, sino también la producción.

Esto hace que no todas las leches sean iguales en sus propiedades y la variación en la composición hace que determinadas leches sean útiles para la elaboración de un cierto derivado lácteo, pero a su vez es inapropiada para otros. De la misma manera, se tendrá algunas leches más nutritivas que otras. (Nasanovsky, 2012)

1.5.1. GRASA

Debido a diversos factores que intervienen en la composición de la leche el contenido de grasa en la leche vacuna varía notablemente; según Nasanovsky (2012) los valores porcentuales más comunes se encuentran entre 3.2 y 4.2%.

1.5.2. LACTOSA

“De todos los componentes de la leche es el que se encuentra en mayor porcentaje, del 4.7 al 5.2%, siendo además el más constante. La lactosa es un carbohidrato disacárido (el azúcar de la leche) y se halla libre en suspensión” (Nasanovsky, 2012).

1.5.3. ENZIMAS

“La leche contiene varias enzimas. Algunas se hallan en las membranas de los glóbulos de grasa, por lo que son arrastradas cuando se separa la crema; entre ellos están los reductosos aldehídicos, fosfatosos, etc.” (Nasanovsky, 2012).

1.5.4. MINERALES

En la leche vacuna la cantidad de minerales varia en alrededor de 0.8%. Es rica en potasio, siendo importante también la presencia de fósforo, calcio y magnesio; el contenido de minerales es bastante superior al existente en la leche humana.

En cuanto a los ácidos orgánicos, la presencia más importante es la del ácido cítrico que interviene en el equilibrio de calcio en las micelas de caseína, contiene además, pero en muy pequeñas cantidades ácido fórmico, acético y láctico. (Nasanovsky, 2012)

1.5.5. VITAMINAS

La leche es el alimento que contiene la variedad más completa de vitaminas, sin embargo, estos se hallan en pequeñas cantidades y algunos no alcanzan para los requerimientos diarios.

Las vitaminas se clasifican en dos grupos según sean solubles en lípidos o en agua.

a) Vitaminas liposolubles:

Son las vitaminas A (100 a 500 mg/litro); vitamina D (2 mg/litro); vitamina E (500 a 1000 mg/litro); vitamina K (solo hay trazos). Estas vitaminas son resistentes al calor, se hallan en la materia grasa y son menos abundantes (solo la D), que en la leche humana.

b) Vitaminas hidrosolubles:

Se hallan en la fase acuosa y son: vitamina B₁ y vitamina B₂: estas dos son las más abundantes: 400 a 1000 mg/litro de la B₁ y 800 a 3000 mg/litro de B₂; vitamina B₁₂ está presente en muy pequeñas cantidades; ácido nicotínico: 5 a 10 mg/litro; vitamina C: 10 a 20 mg/litro.

De las vitaminas hidrosolubles la leche vacuna tiene más vitaminas del complejo B que la leche humana; algunos son muy resistentes a las temperaturas altas (como la B₁) mientras que otros se destruyen fácilmente con el calor (como la C). (Nasanovsky, 2012)

1.6. FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA COMPOSICIÓN DE LA LECHE

1.6.1. CICLO DE LACTANCIA

La producción y composición varían en el curso de la lactancia. “La lactosa aumenta en el primer mes para luego mantenerse más o menos uniforme, mientras que las grasas y las proteínas (nitrogenados) en el primer mes disminuye abruptamente para luego aumentar hasta el final de la lactación” (Nasanovsky, 2012).

1.6.2. INCIDENCIA DE LA ALIMENTACIÓN

Intervienen en este caso la cantidad y la composición del alimento. Si se reduce la cantidad disminuye la producción y aumenta el porcentaje de sólidos pero no hay gran disminución de grasas.

En cambio, si es insuficiente la presencia de vegetales verdes en la alimentación, se tendrá un descenso en la leche, debido a que la fermentación en el rumen no es efectiva pues disminuye la formación de ácido acético y otros ácidos que son los principales formadores de ácidos grasos.

Contra lo que puede creerse, la inclusión de grasas en la alimentación no tiene influencia en la composición de la leche, lo mismo puede decirse de una alimentación rica en nitrogenados pues la misma no incide en el porcentaje de proteínas.

1.6.3. INCIDENCIA CLIMÁTICA

En general, la producción de leche tiende a aumentar en verano y disminuir en invierno y en forma inversa, el contenido de grasa y sólidos de la leche se hace mínima durante el verano, teniendo tendencia a aumentar durante el invierno.

1.6.4. INCIDENCIA DE LA RAZA

Distintas razas de bovinos tienen distinta composición y producción de leche. El rendimiento anual de una raza respecto a otra puede llegar a ser el doble y triple. Así tenemos que la raza Holando es de muy buena producción; a su vez, la Jersey y la Guersney son las de más alto contenido de materia grasa; es en este componente (grasa), en donde más se nota la diferencia entre razas; por ejemplo, “la Jersey puede dar leche con 5.37% de grasa, mientras que la Shorton da leche de alrededor de 3.94% de materia grasa, en cambio la lactosa es un componente cuyo porcentaje es relativamente uniforme en todas las razas” (Nasanovsky, 2012).

1.7. RECOLECCIÓN TRANSPORTE Y RECEPCIÓN

1.7.1. RECOLECCIÓN

Debido a que la leche es un producto sumamente perecedero debe ser recolectada de inmediato si no existe un sistema de enfriamiento. Dependiendo de la temperatura, la leche cruda puede durar varias horas.

1.7.2. TRANSPORTE

El transporte se lo realiza mediante cantinas de 40 litros las mismas que son de aluminio. Actualmente es de uso generalizado los tanques cisternas que llevan la leche hasta la planta industrial desde los centros de recolección o bien desde la misma unidad de producción si esta es de gran producción (los pequeños productores, envían en tarros la leche hacia los centros de recolección).

Los tanques utilizados para el transporte por medio de camiones, son generalmente de acero inoxidable; también los hay de aluminio. Los tanques son contruidos con doble pared y aislados, en general, con corchos; su sección es circular o elíptica (el circular es de más fácil higienización y el elíptico permite mayor estabilidad en el viaje). Generalmente los tanques están divididos en secciones para evitar el batido de la leche pues puede ocasionar la separación de la grasa.

1.7.3. RECEPCIÓN

En la recepción de la planta industrial láctea, se recibe, se verifica y se registra la cantidad de leche que entra; a su vez se descarga la leche en un tanque de recepción y de allí se pasa a un tanque de almacenamiento.

1.8. PROCESO DE PASTEURIZACIÓN

Cualquiera sea el destino de la leche ya sea para su venta en cualquiera de sus tipos o para la elaboración de derivados lácteos, debe ser sometida a un tratamiento térmico.

El objeto de este tratamiento es, en primer lugar, destruir todos los microorganismos que puedan ser causa de enfermedades (patógenos) y en segundo término, disminuir el número de aquellos agentes microbianos que puedan afectar la calidad de la leche y sus productos derivados.

Se puede conceptualizar la pasteurización como el tratamiento térmico por debajo del punto de ebullición, y en un tiempo mínimo, que permite destruir la totalidad de los agentes microbianos patógenos.

Las mejores combinaciones de temperatura y tiempo para pasteurizar fundamentalmente se han reducido a dos:

1º) Pasteurización lenta o discontinua.

2º) Pasteurización rápida o continua.

1.8.1. PASTEURIZACIÓN LENTA

Este método consiste en calentar la leche a temperaturas entre 62 y 64°C y mantenerla a esta temperatura durante 30 minutos.

La leche es calentada en recipientes de doble pared; la leche se calienta por medio de vapor o agua caliente que circula entre las paredes del tanque, provisto este de un agitador para hacer más homogéneo el tratamiento.

Luego de los 30 minutos, la leche es enfriada a temperaturas entre 4 y 10°C según la conveniencia. Para efectuar este enfriamiento se puede usar el mismo recipiente haciendo circular por la camisa de doble fondo agua helada hasta que la leche tenga la temperatura deseada.

1.8.2. PASTEURIZACIÓN RÁPIDA

Llamada también pasteurización continua o bien HTST (High Temperature Short Time), este tratamiento consiste en aplicar a la leche una temperatura de 72 - 73°C en un tiempo de 15 a 20 segundos.

Esta pasteurización se realiza en intercambiadores de calor de placas, y el recorrido que hace la leche en el mismo es el siguiente:

La leche llega al equipo intercambiador a 4°C aproximadamente, proveniente de un tanque regulador; en el primer tramo se calienta por regeneración. En esta sección de regeneración o precalentamiento, la leche cruda se calienta a 58°C aproximadamente por medio de la leche ya pasteurizada cuya temperatura se aprovecha en esta zona de regeneración. Al salir de la sección de regeneración, la leche pasa a través de un filtro que elimina impurezas que pueda contener, luego la leche pasa a los cambiadores de calor de la zona o área de calentamiento donde se la calienta hasta la temperatura de pasteurización, esta es 72 - 73°C por medio de agua caliente. Alcanzada esta temperatura la leche pasa a la sección de retención de temperatura; esta sección puede estar constituida por un tubo externo o bien un retardador incluido en el propio intercambiador; el más común es el tubo de retención, en donde el tiempo que la

leche es retenida es de 15 a 20 segundos. A la salida de esta zona de retención, la leche pasa por una válvula de desviación; en esta válvula, si la leche no alcanza la temperatura de 72-73°C, automáticamente la hace regresar al tanque regulador o de alimentación para ser luego reprocesada; pero si la leche alcanza la temperatura de 72 - 73°C, pasa entonces a la zona de regeneración o precalentamiento, donde es enfriada por la leche cruda hasta los 18°C. De aquí la leche pasa a la sección de enfriamiento en donde se distinguen dos zonas: una por donde se hace circular agua fría y la otra en donde circula agua helada, para terminar de esta manera el recorrido de la leche, saliendo del intercambiador a la temperatura de 4°C generalmente.

Las ventajas de la pasteurización rápida respecto a la lenta son las siguientes:

- a) Pueden procesarse en forma continua grandes volúmenes de leche.
- b) La automatización del proceso asegura una mejor pasteurización.
- c) Es de fácil limpieza y requiere poco espacio.
- d) Por ser de sistema cerrado se evitan contaminaciones.
- e) Rapidez del proceso.

En cuanto a las desventajas se pueden nombrar:

- a) No puede adaptarse al procesamiento de pequeñas cantidades de leche.
- b) Las gomas que acoplan las placas son demasiado frágiles.
- c) Es difícil un drenaje o desagote completo. (Nasanovsky, 2012)

1.8.3. PASTEURIZACIÓN DE LA LECHE PARA QUESOS

La pasteurización de la leche destinada para la elaboración de quesos se hace generalmente a 70°C en 15 o 20 segundos en el tratamiento rápido o a 65°C en 30 minutos en el tratamiento lento. Si se efectuara a temperaturas mayores se presenta una coagulación defectuosa.

1.9. ELABORACIÓN DE QUESOS

El queso puede ser definido como el producto resultante de la concentración de una parte de la materia seca de la leche, por medio de una coagulación.

1.9.1. LECHE PARA LA ELABORACIÓN DE QUESOS

La leche debe presentar ciertas características para obtener un queso de calidad y con buen rendimiento. Por lo tanto se considera una serie de factores para que una leche se utilice en la elaboración de quesos. Entre ellos están:

1.9.1.1. Naturaleza físico-químico

La leche debe ser normal, específicamente en lo que se refiere a sales minerales, específicamente la del calcio, pues este es importante en la constitución de los micelios.

1.9.1.2. Contenido de proteína coagulable

“El contenido de caseína en la leche debe ser alto. Al principio de la lactación, las leches contienen poca caseína; por eso se usan las leches obtenidas de 10 u 11 días después del parto” (Nasanovsky, 2012).

1.9.1.3. Capacidad para coagular por acción del coagulante (ya sea ácido o enzimático)

Las leches que se utilizan para elaborar quesos deben cuajar rápidamente con los coagulantes.

Sin embargo, “el tiempo de coagulación depende, entre otros factores, de la acidez (a menor pH hay mayor actividad de las enzimas y, por consiguiente, la gelatinización es más rápida); también depende de la composición de la leche” (Nasanovsky, 2012).

1.9.1.4. Presencia de sustancia inhibidoras.

Las leches que se emplean para hacer quesos no deben contener sustancias que inhiben el crecimiento microbiano (antibióticos, antisépticos, restos de detergentes, etc.) ya que estos pueden interferir en la maduración de los quesos,

que se hace con cepas seleccionadas. La penicilina es el antibiótico que más inhibe a las bacterias lácticas.

1.9.1.5. Microorganismos.

Las leches para quesería deben tener pocos microorganismos. Por eso, la leche utilizada se debe pasteurizar. Con una leche pasteurizada se controla mejor la maduración de la misma; también se eliminan los microorganismos indeseables. Esa eliminación de la flora inicial permite controlar mejor el proceso y producir quesos de composición y calidad mas uniformes.

1.9.2. COAGULACIÓN DE LA LECHE

La coagulación o cuajado de la leche puede hacerse de dos maneras: coagulación ácida, coagulación enzimática.

1.9.2.1. Coagulación ácida

Es la coagulación que se realiza por agregado directo de una sustancia ácida. La acidificación se hace utilizando ácido láctico en general, aunque en algunos quesos se usa ácido acético o ácido cítrico.

El ácido actúa sobre los micelios (partículas que se hallan en suspensión). La coagulación se efectúa por la desmineralización que provoca el ácido sobre los micelios. El coágulo formado no es muy estable debiéndose procurar que dicha desmineralización no sea total para que se forme el gel láctico. Normalmente se trabaja a temperaturas altas, lo cual hace que se aumente el valor de pH al cual se empieza a coagular la caseína, siendo importante para que no ocurra esa desmineralización mencionada pudiéndose llegar hasta los 80°C en algunos quesos. Esta manera de coagular, se utiliza en quesos blandos y frescos. (Nasanovsky, 2012)

1.9.2.2. Coagulación enzimática (por acción del cuajo)

Es la más común en la elaboración de quesos. Consiste en coagular la leche por acción del cuajo o quimosina o renina que en la naturaleza se halla en estómagos de terneros y cabritos. “La coagulación se realiza al atacarse el caseinato de

calcio, por el cuajo, se transforma en paracaseinato de calcio que combinado con sales solubles se vuelve insoluble y se precipita formando gel o cuajada” (Nasanovsky, 2012).

“La velocidad de coagulación y las características de la cuajada depende de una serie de factores entre los cuales se halla la acidez, cantidad de cuajo, temperatura y contenido de calcio” (Badui Dergal, 2006).

1.9.3. CORTE DE CUAJADA Y DESUERO

La división de la cuajada debe efectuarse lenta y cuidadosamente, sin precipitaciones ni brusquedades; se procede a la fragmentación con suavidad. Los cortes tienen que ser completos; la masa debe seccionarse, y no desgarrarse, y mucho menos deshacerse, pues los trozos de cuajada han de conservar la forma que el operador desee darle: cúbica, esférica, etc.

Luego del corte, es normal que se haga una agitación suave de la cuajada para disminuir el suero retenido y obtener con ello un queso más compacto y con humedad uniforme.

Una vez finalizada la agitación de la cuajada, se deja reposar por unos minutos para que se asiente (10-20 minutos). Pasado este tiempo se separa el suero. En algunos casos se utiliza agua caliente para ayudar al proceso de desuerado.

1.9.4. SALADO

Con el salado se procuran tres efectos distintos: activar el desuero, mejorar la fermentación y sazonar el queso. El primero de ellos se explica por el poder absorbente que la sal tiene para la humedad, y el segundo por su acción inhibidora sobre el desarrollo de ciertos microbios o mohos. La sal puede ser adicionada en el suero, en la cuajada, durante la maduración, o en salmuera.

1.9.5. MOLDEO Y PRENSADO

Después del salado, la cuajada se coloca en moldes de madera, plástico o acero inoxidable. Esta operación coadyuva al desuero, forma el queso y le da la consistencia necesaria.

1.10. INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN LA LECHE

El tratamiento térmico para destruir microorganismos puede provocar cambios en los componentes, que a su vez, ocasionan cambios en los productos derivados. La intensidad de estos efectos dependerán de las condiciones en que se realiza el tratamiento.

1.10.1. CAMBIOS EN LA GRASA DE LA LECHE

El efecto más visible es la pérdida de la línea de crema, en una leche cruda en reposo se forma en la superficie una película o capa de crema (línea de crema) que, de manera primaria, nos indica el contenido de grasa de la misma.

“El tratamiento térmico afecta esta línea de crema y la leche queda con apariencia de contener menos grasa, pero lo que en realidad ocurre es un cambio en la aglomeración de los glóbulos de grasa (se piensa que se debe a que las proteínas asociadas al glóbulo pierden su estabilidad y se desnaturalizan), la cual hace que crezca la dispersión de los mismos” (Nasanovsky, 2012).

1.10.2. CAMBIOS EN LA LACTOSA

“La lactosa es estable al calor, si este se aplica en forma moderada, pues si se calienta, por ejemplo, a más de 100°C y por un tiempo relativamente prolongado, se produce la caramelización, que provoca la formación de ácidos como el fórmico, el láctico, etc.” (Nasanovsky, 2012).

1.10.3. CAMBIOS EN LAS PROTEÍNAS

“A las temperaturas de pasteurización no ocurren cambios, pero si a temperaturas superiores a 80°C, produciéndose en tal caso una desnaturalización de las

proteínas del lactosuero, provocando esto la liberación de compuestos que dan el sabor a cocido característico en esta degradación” (Badui Dergal, 2006).

1.10.4. CAMBIOS EN LAS ENZIMAS

“Las enzimas en la leche son variablemente sensibles a la temperatura, la lipasa es de los más sensibles, mientras que los fosfatados alcalinos son los más resistentes. Algunas enzimas se reactivan después de haber sido tratadas térmicamente” (Nasanovsky, 2012).

1.10.5. CAMBIOS EN LAS VITAMINAS

La temperatura y el tiempo aplicado a la leche no causan el mismo efecto sobre las vitaminas de la leche, “los que sufren más modificaciones son las vitaminas B₁, la vitamina C y la B₁₂” (Nasanovsky, 2012).

1.10.6. INFLUENCIA SOBRE LOS MICROORGANISMOS

La temperatura influye cualitativamente y cuantitativamente en el crecimiento de los microorganismos presentes en la leche.

El efecto cuantitativo muestra que la cantidad de microorganismos se incrementa cuando la temperatura aumenta hasta 35 - 40°C; por encima de estos valores la velocidad de crecimiento disminuye.

Cualitativamente, se sabe que en leches tratadas a diferentes temperaturas no se encuentran las mismas especies; esto es porque no todos los microorganismos tienen el mismo rango de temperatura óptimo para su desarrollo. (Nasanovsky, 2012)

1.11. ONDAS SONORAS

El sonido es un disturbio que se propaga en un medio material, ya sea sólido, líquido o gaseoso, en forma de ondas mecánicas de presión. Dichas ondas son longitudinales, es decir, la propagación es en la misma dirección que la presión, a diferencia de las ondas

electromagnéticas que son transversales y se propagan en dirección perpendicular a los campos eléctrico y magnético. El tratamiento matemático de las ondas sonoras es muy similar al de las ondas electromagnéticas. En tanto que éstas no requieren de un medio material y pueden propagarse en el vacío, las ondas sonoras necesitan un medio material y pueden considerarse como causadas por la compresión y rarefacción de las moléculas del medio (Vega, sf).

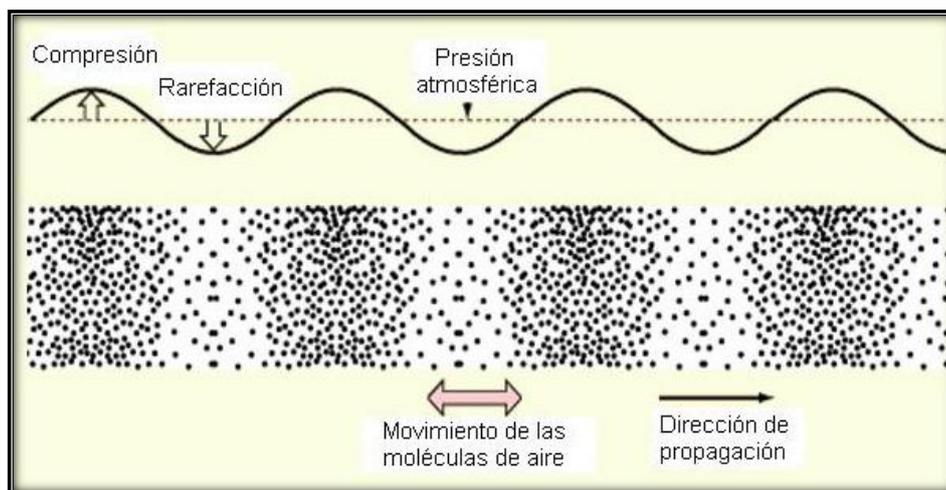


Figura 1.1. Ondas sonoras

Fuente: Ingeniería del sonido, López Feo (2009)

Lo que se propaga es energía desde un foco emisor. Esta energía se traduce en variaciones de presión. Las variaciones pueden ser muy pequeñas, la velocidad depende del medio.

“Velocidad del sonido en el aire: 340 m/s

Velocidad del sonido en el agua: 1 410 m/s” (Serway, 1997)

1.11.1. ELEMENTOS DE UNA ONDA

El sonido al ser una onda posee los siguientes elementos:

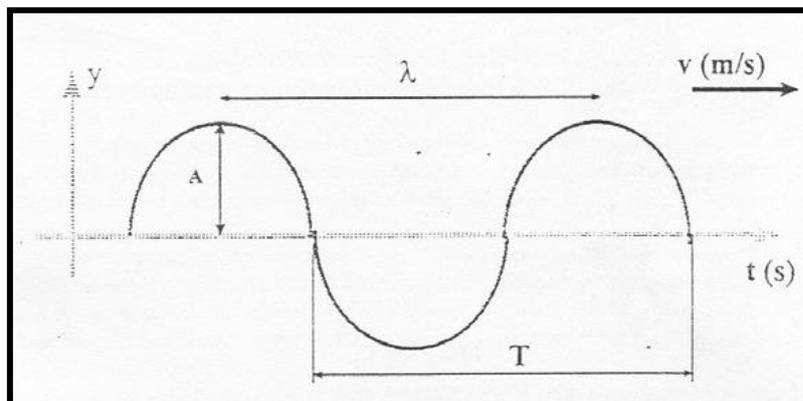


Figura 1.2. Elementos de una onda

Fuente: Ingeniería del sonido, López Feo (2009)

1.11.1.1. Período y frecuencia

El tiempo empleado en un ciclo completo se llama período (T) medido en segundos. El número de ciclos por segundo se llama frecuencia (f) y se mide en ciclos por segundo o Hertzios. La frecuencia es inversa al período $f = 1/T$.

1.11.1.2. Amplitud

La amplitud se define como el máximo desplazamiento desde la posición de equilibrio.

1.11.2. CLASIFICACIÓN SEGÚN SU FRECUENCIA

1.11.2.1. ONDAS AUDIBLES

Ondas sonoras que están dentro del intervalo de sensibilidad del oído humano, de 20 Hz a 20000Hz.

1.11.2.2. ONDAS INFRASÓNICAS

Son las que tiene frecuencias debajo del intervalo audible. Por ejemplo las ondas producidas por un terremoto.

1.11.2.3. ONDAS ULTRASÓNICAS

“Son aquellas cuya frecuencia está por arriba del intervalo audible por ejemplo pueden generarse al introducir vibraciones en un cristal de cuarzo con un campo eléctrico alterno aplicado. Todas pueden ser longitudinales o transversales en sólidos, aunque solo pueden ser longitudinales en fluidos” (Vuilte, Faughn, & Sergway, 2010).

1.11.3. INTENSIDAD Y POTENCIA DEL SONIDO

Según Cádiz, (2008) la mayor parte de los sonidos están formados por series irregulares de perturbaciones de presión en el medio, positivas (compresiones) y negativas (rarefacciones) con respecto a la presión atmosférica de equilibrio. Si se mide el valor medio de la perturbación de presión sonora, podríamos encontrar que es cero, debido a que existen tantas perturbaciones positivas como negativas. Así el valor medio no es una medida útil. Se debe emplear una medida que permita sumar los efectos de las compresiones y rarefacciones. Una de ellas es la Presión Sonora Raíz Cuadrática Media (RMS). La PRMS se obtiene elevando al cuadrado el valor de la perturbación de presión sonora en cada momento. Estos valores cuadráticos son así sumados y promediados en el tiempo. La presión sonora RMS es la raíz cuadrada de esta media temporal. El valor RMS es llamado también valor efectivo.

Es necesario aclarar la distinción entre intensidad real o física de un sonido, de la intensidad subjetiva que produce este sonido a un agente determinado.

Físicamente, “la intensidad se define como la cantidad de energía que atraviesa por una superficie en la unidad de tiempo colocada perpendicularmente a la dirección de propagación de la onda sonora” (Cadiz, 2008).

La intensidad de sonido se representa por L .

Ecuación 1.1 Intensidad del sonido

$$L = \frac{\text{Energía}}{\text{Tiempo} \cdot \text{Superficie}}$$

Fuente: Cádiz, (2008)

Y según el sistema de medida internacional (MKS) se medirá en:

$$\frac{\text{julio}}{\text{seg.m}^2} = \frac{\text{watio}}{\text{m}^2}$$

Reemplazando en la ecuación 1.1:

$$L = \frac{\text{potencia}}{\text{superficie}}$$

De donde se deduce que:

$$\text{Potencia} = L \cdot 4\pi r^2$$

Si el foco emite en un medio homogéneo o isótropo, podemos saber la potencia en todos los puntos de una esfera de radio R, cuyo centro es dicho foco.

La intensidad para una onda plana que progresa libremente, también viene dado por la expresión:

Ecuación 1.2 intensidad del sonido para una onda plana

$$L = \frac{p^2}{10 \cdot \rho \cdot c}$$

Fuente: Física del sonido, (2000)

Donde:

P: Presión sonora que crea la onda, medida de micro bares.

ρ : Densidad del medio donde se propaga la onda.

c: Velocidad del sonido en el medio.

Otra forma de medir el sonido sería mediante la Potencia Sonora. “Se define como la energía emitida en la unidad de tiempo por una fuente determinada. Partiendo de la ecuación 1.1 de intensidad sonora:

$$L_{\text{media}} = \frac{\text{Energía}}{\text{Tiempo} \cdot \text{superficie}} = \frac{\text{Potencia}}{\text{Superficie}} = \frac{W}{S}$$

Suponiendo una fuente sonora no direccional en el centro de una esfera de radio R:

Ecuación 1.3 Formula de la superficie de una esfera

$$S = 4\pi R^2$$

Con lo que:

$$L_{media} = \frac{W}{4\pi R^2} \Rightarrow W = L_{media} \cdot 4\pi R^2$$

Remplazando y despejando en la ecuación 1.2. se tiene:

Ecuación 1.4 Potencia sonora

$$W = \frac{P^2}{10 \cdot \rho \cdot c} \cdot 4\pi r^2$$

Como ejemplos, se puede indicar que una conversación normal tiene 20 mW, un martillo neumático 1 W, y un avión a reacción 10 Kw” (física del sonido, 2000)

“La presión acústica se define como la diferencia de presión instantánea y la presión atmosférica estática, La presión sonora también se puede medir en pascales, no obstante, su valor es muy inferior al de la atmosférica. Además del pascal, para medir la presión sonora se utiliza el micro bar (μbar), que es la millonésima parte del bar ($1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2 = 10 \mu\text{bar}$ y $1 \mu\text{bar} = 10^{-6} \text{ bar}$).” (Wikipedia, 2011)

Tomando en cuenta que la presión atmosférica es de 101 325 Pa y la presión sonora se mide en $\mu\text{bar} = 0,1 \text{ Pa}$ se podría decir que $P = 101 \text{ 325 Pa}$.

“La presión e intensidad se relacionan a través de la siguiente ecuación:

Ecuación 1.5 Relación entre la presión e intensidad sonora

$$P = \sqrt{L \cdot \rho \cdot c}$$

Donde ρ equivale a densidad del medio y c es la velocidad del sonido.” (Cadiz, 2008)

Reemplazando la ecuación 1.2 en la ecuación 1.5 y simplificando se obtiene que:

Ecuación 1.6 Relación potencia, presión y densidad

$$P = \sqrt{\frac{\text{potencia}}{\text{superficie}}} \rho \cdot c$$

1.12. SENSORES

Un sensor es un dispositivo capaz de detectar magnitudes físicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas en variables eléctricas. Las variables de instrumentación pueden ser por ejemplo: temperatura, intensidad lumínica, distancia, aceleración, inclinación, desplazamiento, presión, fuerza, torsión, humedad, movimiento, pH, etc. Una magnitud eléctrica puede ser una resistencia eléctrica (como en una RTD), una capacidad eléctrica (como en un sensor de humedad), una Tensión eléctrica (como en un termopar), una corriente eléctrica (como en un fototransistor), etc.

El sensor está siempre en contacto con la variable de instrumentación con lo que puede decirse también que es un dispositivo que aprovecha una de sus propiedades con el fin de adaptar la señal que mide para que la pueda interpretar otro dispositivo. Como por ejemplo el termómetro de mercurio que aprovecha la propiedad que posee el mercurio de dilatarse o contraerse por la acción de la temperatura. Un sensor es un dispositivo que convierte una forma de energía en otra.

1.12.1. TRANSDUCTOR

Los transductores son aquellas partes de un sistema de medición que transforman una magnitud física en otra. Los transductores son especialmente importantes para que los medidores puedan detectar magnitudes físicas. Normalmente, estas magnitudes, como por ejemplo temperatura, presión, humedad del aire, presión sonora, caudal, o luz, se convierten en una señal normalizada (por ejemplo 4 ... 20 mA). Las ventajas de la transformación son por un lado la flexibilidad, ya que muchos medidores soportan la transformación de

señales normalizadas. Por otro lado, las magnitudes medidas pueden ser leídas a grandes distancias sin prácticamente pérdida alguna.

Cuando se usan transductores, la unidad de evaluación debe recibir sólo el rango de medición, pues a partir de ahí, se calculan desde las señales eléctricas las magnitudes eléctricas. Algunos transductores ofrecen adicionalmente una separación galvánica entre la señal de entrada y de salida. (PCE instrument)



Figura 1.3. Transductor

Fuente: PCE instrument

1.12.2. TRANSDUCTOR PIEZOELÉCTRICO

Un transductor piezoeléctrico utiliza un cristal piezoeléctrico que se contrae ante impulsos eléctricos aplicados en su superficie, es importante destacar que no utiliza ningún tipo de magnetismo o imanes.

“Tiene un alto rendimiento, sensibilidad o eficiencia, pero como su superficie de radiación es muy pequeña solo se utilizan para la reproducción de altas frecuencias.” (Duiops, 2009)

El cristal utilizado por el transductor de ultrasonido es de cuarzo. El cuarzo es un mineral muy común, de hecho forma parte del granito, que es una roca muy utilizada en la construcción. Tiene una curiosa propiedad llamada "piezo-electricidad: si se presionan las dos caras de un cristal de cuarzo, obtendremos entre ellas un voltaje eléctrico. Pero, este efecto es reversible, ya que si aplicamos un voltaje eléctrico con la misma polaridad entre ambas caras, el cristal se comprime de la misma forma que si lo hubiésemos presionado físicamente. Si

alternamos la polaridad, el cristal vibrará (comprimiéndose y expandiéndose) al ritmo de la frecuencia del voltaje aplicado, y si esa frecuencia es similar a la de vibración natural del cristal, entonces entrará en lo que se llama "resonancia", momento en el cual alcanza su máxima intensidad de vibración.

Por tanto, un cristal de cuarzo es capaz de convertir una fuerza mecánica en una energía eléctrica, y viceversa, una energía eléctrica en una fuerza mecánica. El fenómeno piezoeléctrico es una propiedad de los cristales cuya red cristalina no es simétrica; además del cuarzo, también la poseen la turmalina y la sal de Rochela. (Crespo, 2007)

1.12.3. CARACTERÍSTICAS DE UN SENSOR

Rango de medida: dominio en la magnitud medida en el que puede aplicarse el sensor.

Precisión: es el error de medida máximo esperado.

Offset o desviación de cero: valor de la variable de salida cuando la variable de entrada es nula. Si el rango de medida no llega a valores nulos de la variable de entrada, habitualmente se establece otro punto de referencia para definir el *offset*.

Linealidad o correlación lineal. La salida que presenta con respecto a la entrada

Sensibilidad de un sensor: suponiendo que es de entrada a salida y la variación de la magnitud de entrada.

Resolución: mínima variación de la magnitud de entrada que puede apreciarse a la salida.

Rapidez de respuesta: puede ser un tiempo fijo o depender de cuánto varíe la magnitud a medir. Depende de la capacidad del sistema para seguir las variaciones de la magnitud de entrada.

Derivas: son otras magnitudes, aparte de la medida como magnitud de entrada, que influyen en la variable de salida. Por ejemplo, pueden ser condiciones ambientales, como la humedad, la temperatura u otras como el envejecimiento (oxidación, desgaste, etc.) del sensor.

Repetitividad: error esperado al repetir varias veces la misma medida.

1.12.4. RESOLUCIÓN Y PRECISIÓN

La resolución de un sensor es el menor cambio en la magnitud de entrada que se aprecia en la magnitud de salida. Sin embargo, la precisión es el máximo error esperado en la medida.

La resolución puede ser de menor valor que la precisión. Por ejemplo, si al medir una distancia la resolución es de 0,01 mm, pero la precisión es de 1 mm, entonces pueden apreciarse variaciones en la distancia medida de 0,01 mm, pero no puede asegurarse que haya un error de medición menor a 1 mm. En la mayoría de los casos este exceso de resolución conlleva a un exceso innecesario en el coste del sistema. No obstante, en estos sistemas, si el error en la medida sigue una distribución normal o similar, lo cual es frecuente en errores accidentales, es decir, no sistemáticos, la repetitividad podría ser de un valor inferior a la precisión.

Sin embargo, la precisión no puede ser de un valor inferior a la resolución, pues no puede asegurarse que el error en la medida sea menor a la mínima variación en la magnitud de entrada que puede observarse en la magnitud de salida

1.12.5. SENSORES DE ULTRASONIDO

Hay una amplia gama de sensores de ultrasonido que se aplican para diferentes fines como para detectar la presencia, distancia, nivel de líquidos o sólidos, dentro de la medicina en lo que es el Ecógrafo que permite analizar las condiciones de

cuerpo humano sin tener que intervenir quirúrgicamente. Son muchas las aplicaciones del ultrasonido debido a que es un método no invasivo y por la rapidez de su aplicación.

Uno de los sensores de ultrasonido más comunes son los SRFXX en sus diferentes series.

1.12.5.1. Sensor SRF04

El sensor de ultrasonido tiene el siguiente funcionamiento:

Necesita de un pulso de inicio de mínimo 10 μ s, después de eso se genera un tren de 8 pulsos a una frecuencia de 40kHz el cual es transmitido y se espera que retorne el eco y dependiendo del tiempo que se demore en retornar el eco se puede calcular la distancia a la que se encuentra el objeto.

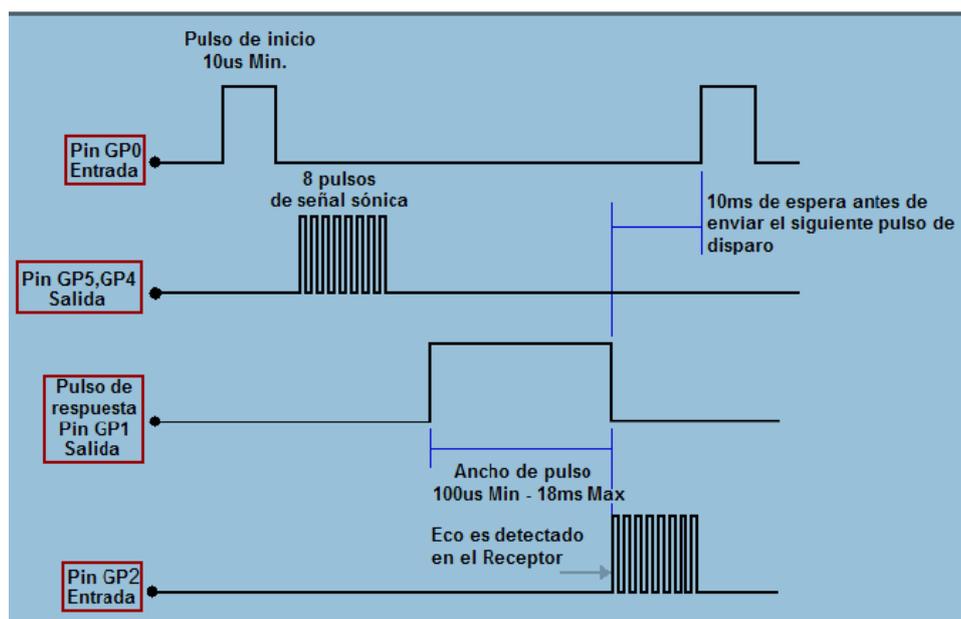


Figura 1.4. Tiempos de SRF04

Fuente: Datasheet SRF04

El sensor SRF04 trabaja con un PIC 12C508, el cual administra las señales de nivel lógico TTL tanto para la emisión como para la recepción. Este elemento proporciona la frecuencia de 40 KHz que requieren los transductores. Sin embargo el máximo voltaje con que trabaja el microcontrolador es de 5 V por lo cual cuenta

En la etapa de amplificación se utiliza amplificadores operacionales para obtener una señal que pueda ser ingresada y analizada por el microcontrolador.

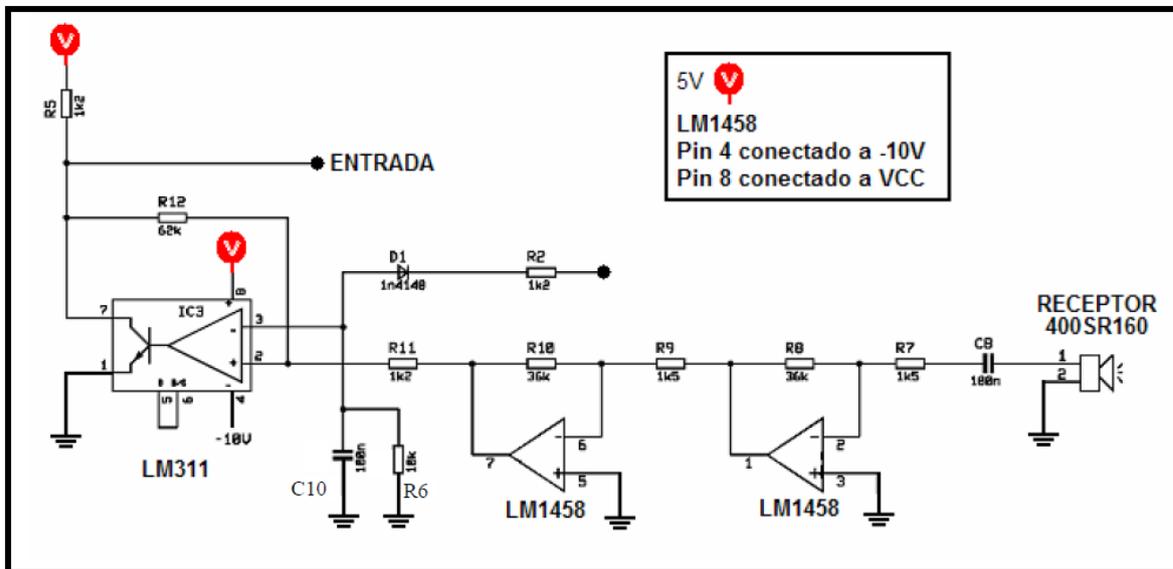


Figura 1.7. Amplificación de la señal de ECO

Fuente: Datasheet SRF04

El esquema general uniendo la etapa de transmisión más la etapa de recepción queda de la siguiente manera.

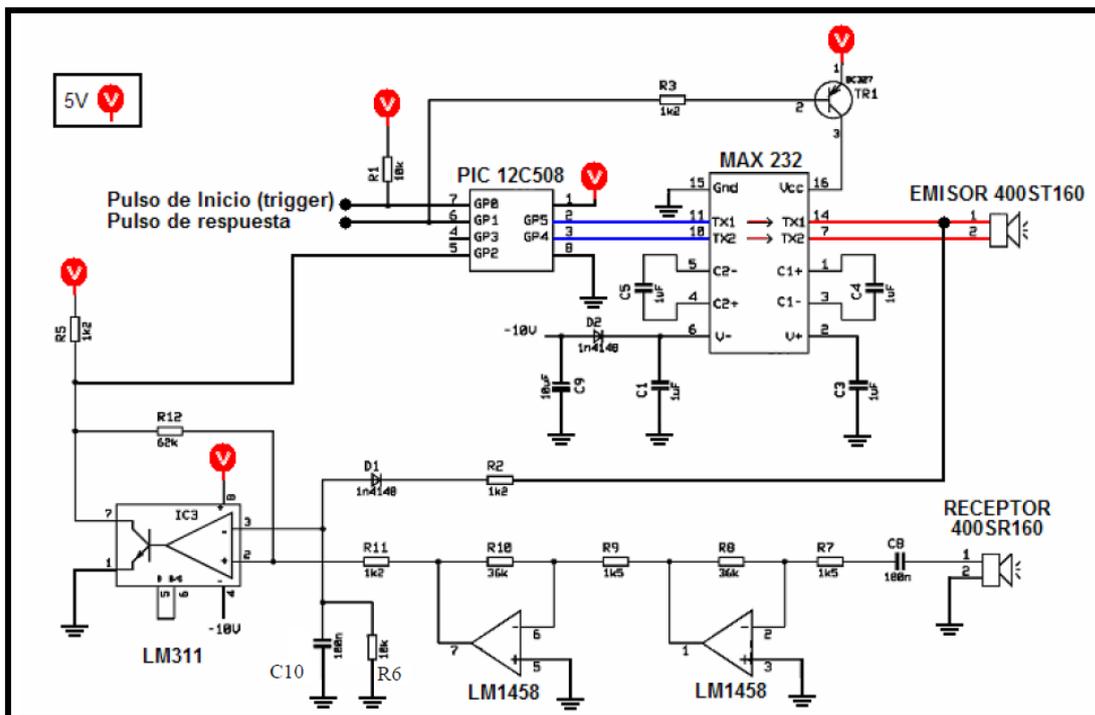


Figura 1.8. Circuito de sensor SRF04

Fuente: Datasheet SRF04

1.12.6. SENSORES DE TEMPERATURA

1.12.6.1. Termocupla

Las termocuplas son los sensores de temperatura eléctricos más utilizados en la industria. Una termocupla se hace con dos alambres de distinto material unidos en un extremo, al aplicar temperatura en la unión de los metales se genera un voltaje muy pequeño, del orden de los milivoltios el cual aumenta con la temperatura. Este sería un esquema de ejemplo de una termocupla cualquiera.

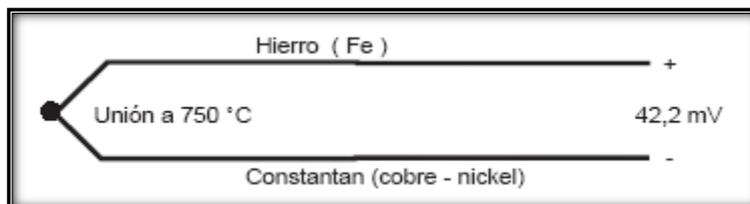


Figura 1.9. Termocupla

Fuente: (Bausá, García, Zaragoza, Gil, Moreno, & Galian)

Estos dispositivos suelen ir encapsulados en vainas, para protegerlos de las condiciones extremas en ocasiones del proceso industrial que tratan de ayudar a controlar, por ejemplo suele utilizarse acero inoxidable para la vaina, de manera que en un extremo está la unión y en el otro el terminal eléctrico de los cables, protegido adentro de una caja redonda de aluminio (cabezal). Además según la distancia a los aparatos encargados de tratar la pequeña señal eléctrica de estos transductores, también deben utilizarse cables compensados para transportar esta señal sin que la modifique o la modifique de una manera fácilmente reconocible y reversible para los dispositivos de tratamiento de la señal.(Bausá)



Figura 1.10. Sensores de temperatura

Fuente: Autor

1.12.6.2. Resistencias detectoras de temperatura (RTD)

Las RTD son dispositivos basados en la variación normal que experimenta la resistencia de un conductor metálico puro con la temperatura, como resultado del cambio de su resistividad y sus dimensiones. Esta variación es directa, es decir, que si la temperatura aumenta o disminuye, la resistencia también aumenta o disminuye en la misma proporción.

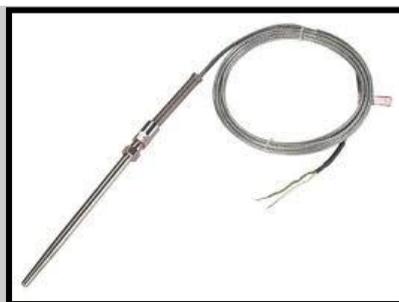


Figura 1.11. RTD

Fuente: Directindustry

El elemento sensor es típicamente un fino alambre de platino o una delgada película del mismo material aplicada a un sustrato cerámico. Otros metales comúnmente utilizados como elementos sensores son: el níquel, el cobre y el molibdeno.

Las RTD, principalmente las versiones de platino, se caracterizan principalmente por su precisión y su amplio rango de temperaturas de operación, el cual se extiende desde -250°C hasta $+850^{\circ}\text{C}$. Tienen también una sensibilidad, estabilidad y repetitividad muy altas, y ofrecen una respuesta más lineal que las termocuplas o los termistores.

Los valores nominales de resistencia (R_0) más comunes en los cuales se consiguen las sondas de platino son 25, 50 100, 200, 500 y 1000 Ω . Estos valores están definidos a 0°C . Las populares sondas Pt 100, por ejemplo, son RTD de platino con una R_0 de 100Ω .



Figura 1.12. Sondas de platino

Fuente: Directindustry

En cuanto a la disposición física, hay modelos diseñados tanto para la inmersión en fluidos como para la medición de temperaturas superficiales.

Las RTD se utilizan generalmente con un acondicionador de señales que convierte su salida a un voltaje o a una corriente proporcional a la temperatura, Esta señal de alto nivel puede ser entonces transmitida a una unidad de visualización, registro o control.

1.12.6.3. Termistor

Los termistores son una mezcla sintetizada de óxidos metálicos, el termistor es esencialmente un semiconductor que se comporta como un "resistor térmico". Se pueden encontrar en el mercado con la denominación NTC (Negative Temperature Coeficient) habiendo casos especiales de coeficiente positivo cuando su resistencia aumenta con la temperatura y se los denomina PTC (Positive Temperature Coeficient).



Figura 1.13. Termistores

Fuente: Directindustry

En algunos casos, la resistencia de un termistor a la temperatura ambiente puede disminuir en hasta 6% por cada 1°C de aumento de temperatura. Esta elevada sensibilidad a variaciones de temperatura hace que el termistor resulte muy adecuado para mediciones precisas de temperatura, utilizándose ampliamente para aplicaciones de control y compensación en el rango de 150°C a 450°C.

Los termistores sirven para la medición o detección de temperatura tanto en gases, como en líquidos o sólidos. A causa de su muy pequeño tamaño, se los encuentra normalmente montados en sondas o alojamientos especiales que

pueden ser específicamente diseñados para posicionarlos y protegerlos adecuadamente cualquiera sea el medio donde tengan que trabajar. (Bausá)

CAPÍTULO II

2. DISEÑO DEL SISTEMA DE MEDICIÓN DE LA DENSIDAD

2.1. INTRODUCCIÓN

En el proceso de elaboración de quesos de la lechera artesanal “Marianita” no existe el control de la calidad al momento de la recepción de la materia prima, por lo cual se diseñó un sistema que permita el ingreso solo de leche de calidad con una densidad adecuada para el proceso de elaboración de quesos.

La temperatura es un factor importante dentro del cálculo de la densidad ya que al elaborar un sensor de densidad debe dar un valor constante independientemente de la temperatura a la que se encuentre la leche. Por lo tanto existen dos variables de entrada que son la temperatura y el valor que se obtenga del sensor de ultrasonido.

Una vez obtenidas estas dos señales se las analiza dentro de un microprocesador para calcular la densidad con su debida corrección debido a la temperatura y finalmente se puede visualizar los resultados obtenidos en una pantalla y se abrirá la válvula correspondiente dependiendo de la densidad de la leche analizada.

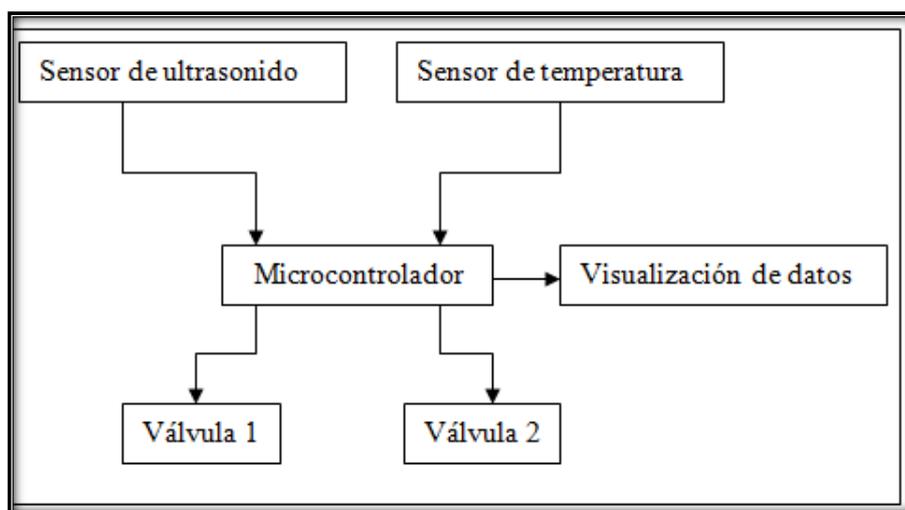


Figura 2.1. Diagrama de bloques del sistema

Fuente: Autor

2.2. SENSOR DE ULTRASONIDO

El sensor de ultrasonido debe ser capaz de resistir la interacción con la leche por lo cual se necesita transductores que sean capaces de ser introducidos en la leche y conserven sus características; por otro lado no deben ser contaminantes para la materia prima.

En base a este criterio se ha seleccionado los transductores US1440 los cuales son transductores piezo eléctricos que poseen una cubierta de acero inoxidable que les permite estar en contacto directo con la leche.

Tabla 2.1. Características de los sensores us1440

Voltaje	5 Vcd – 12 Vcd
Corriente	10 mA
Diámetro	14 mm
Altura	10 mm

Fuente: (Robodata, 2011)



Figura 2.2. Transductores de ultrasonido

Fuente: Autor

2.2.1. TRANSMISOR

La señal a transmitirse es un tren de ocho pulsos a una frecuencia de 40 kHz mediante una señal de disparo.

Ecuación 2.1 Periodo

$$T = 1/f$$

Donde: T = periodo

f = frecuencia

$$T = 1/40000\text{hz}$$

$$T = 0,000025\text{s}$$

$$T = 25 \text{ us}$$

Para obtener una onda cuadrada el tiempo en alto tiene que ser igual al tiempo en bajo por lo tanto:

$$th = 25\text{us}/2$$

$$th = 12,5\text{us} = tb$$

th= tiempo en alto

tb= tiempo en bajo

El tren de pulso será producido por un microcontrolador 16f628a, utilizando el módulo CCP. El control PWM es uno de los tres posibles modos de operación del módulo CCP de los microcontroladores.

Para generar un tren de pulsos con un periodo de 25 μs es necesario calcular el valor del registro PR2, para lo cual se utiliza la siguiente fórmula:

Ecuación 2.2 Cálculo de PWM

$$PWM_{period} = [(PR2) + 1].4.Tosc.(TMR2 \text{ prescale value})$$

Fuente: Datasheet 16f628a p 66

Donde: PWMperiod = periodo de PWM

PR2= registro para controlar el periodo de PWM

Tosc= periodo del oscilador

TMR2 prescaler value= prescaler utilizado

Para obtener un periodo de 25 μ s con un oscilador de 4 MHz y un prescaler de 1 se tendría lo siguiente:

$$25 \text{ us} = [(PR2) + 1] \cdot 4 \cdot \frac{1}{4 \text{ Mhz}} \cdot (1)$$

Despejando PR2:

$$PR2 = 25 - 1 = 24$$

Luego es necesario calcular el valor de los registros CCPR1 para obtener un ancho de pulso de 12,5 μ s. La fórmula a utilizar es la siguiente:

Ecuación 2.3 Ciclo duty de PWM

$$PWM \text{ duty cycle} = (CCPR1L: CCP1CON < 5: 4 >) \cdot Tosc \cdot (TMR2 \text{ prescale value})$$

Fuente: Datasheet 16f628a p 66

$$12,5 \text{ us} = (CCPR1L: CCP1CON < 5: 4 >) \cdot \frac{1}{4 \text{ Mhz}} \cdot (1)$$

$$(CCPR1L: CCP1CON < 5: 4 >) = 50$$

Por lo tanto el valor del registro CCPR1 será de 50 y el valor de PR2 será 24 obteniendo así una onda con una frecuencia de 40 KHz y un ancho de pulso de 12,5 μ s. La alimentación que tolera el microcontrolador es de 5 V por lo tanto la amplitud de la onda será de 5 V por lo que se necesita amplificar la señal.

Para amplificar la señal se utiliza el circuito de la figura 1.5 que es la manera en que la amplifica el sensor de ultrasonido SRF04 a través de un MAX 232 utilizando condensadores de 1 μ F para elevar el voltaje a 10 V para obtener una

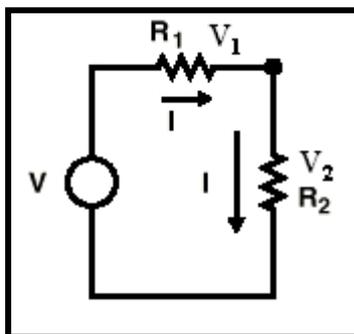


Figura 2.4. Divisor de voltaje

Fuente: Autor

Ecuación 2.4 Divisor de voltaje

$$V_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V$$

Ecuación 2.5 Divisor de voltaje

$$V_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V$$

Analizando las fórmulas es suficiente con poner dos resistencias iguales para obtener el voltaje dividido para dos. El valor de la resistencia debe ser relativamente alto ya que si es muy baja la resistencia de los cables puede influenciar notablemente en los cálculos. Una resistencia de $1K\Omega$ es suficiente

$$V_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V$$

$$V_2 = \frac{1K\Omega}{1K\Omega + 1K\Omega} V$$

$$V_2 = \frac{1}{2} V$$

De igual manera que en la fase de transmisión irá un diodo rápido con una resistencia a tierra para su rápida conmutación y para evitar voltajes negativos para poder ser ingresada directamente al microprocesador para su análisis.

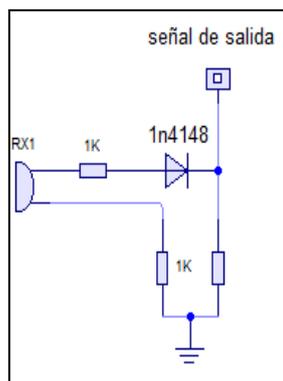


Figura 2.5. Circuito de recepción de la señal

Fuente: Autor

2.3.SENSOR DE TEMPERATURA

2.3.1. Selección del sensor de temperatura

Tabla 2.2 Sensores de temperatura

Sensor de temperatura	Rangos de medición (°C)	Sensibilidad	Empaquetado	Relación respuesta temperatura	Costo
Termocupla Tipo J	0 - 750	50mV/°C	Acero inoxidable	Lineal	Alto
Pt 100	-200 - 850	0,3Ω/°C	Acero inoxidable	Lineal	Moderado
NTC	-70 - 500	6%/°C	Acero inoxidable	Exponencial	Moderado
Lm35	-55 - 150	10 mV/°C	Plástico	Lineal	Bajo

Fuente: Autor

Hay varios sensores de temperatura que se podrían utilizar, pero el que mejor se adapta a las necesidades es una NTC ya que tiene una gran sensibilidad, es decir, por la variación de un grado de temperatura se tiene una gran variación de resistencia lo que permite obtener mejores lecturas de temperatura, el único acondicionamiento que necesita es de realizar un divisor de voltaje para que su señal pueda ser ingresada al canal analógico del microcontrolador y medir la temperatura a la que se encuentra utilizando su ecuación característica, es decir no necesita un circuito amplificador de señal lo que hace que se abaraten costos,

además posee un empaquetado de acero inoxidable que permite introducirla directamente en la leche.

La termocupla y el pt100 también podrían ser utilizados en el sistema pero debido a que necesitan un circuito amplificador de señal se los ha descartado, al necesitar amplificar la señal intervienen elementos que hacen que la placa de control se haga más grande y por lo tanto en un poco más complejo su elaboración al momento de realizar las pistas debido a que aparecen muchos cables que no se pueden unir y se deben puentear con cables externos además al intervenir mas componentes también se incrementa el costo.

El Im35 se lo ha descartado por su presentación que no permite introducirlo directamente en la leche, se lo podría montar en el exterior del tanque pero no se tendría lecturas tan precisas de la temperatura de la leche ya que todo dependería de la conductividad térmica del tanque, además también necesita un circuito amplificador de la señal.



Figura 2.6. Sensor de temperatura

Fuente: Autor

Generalmente la leche al momento de la recepción está entre 20 y 30°C para estos valores se tiene un valor de resistencia en la NTC de 14 y 9 kΩ respectivamente. Por la ntc debe circular la menor cantidad de corriente posible para evitar calentamiento por efecto joule y tener lecturas falsas lo adecuado sería una corriente de 1 mA o inferior, por seguridad se selecciona una corriente de 0,25 mA.

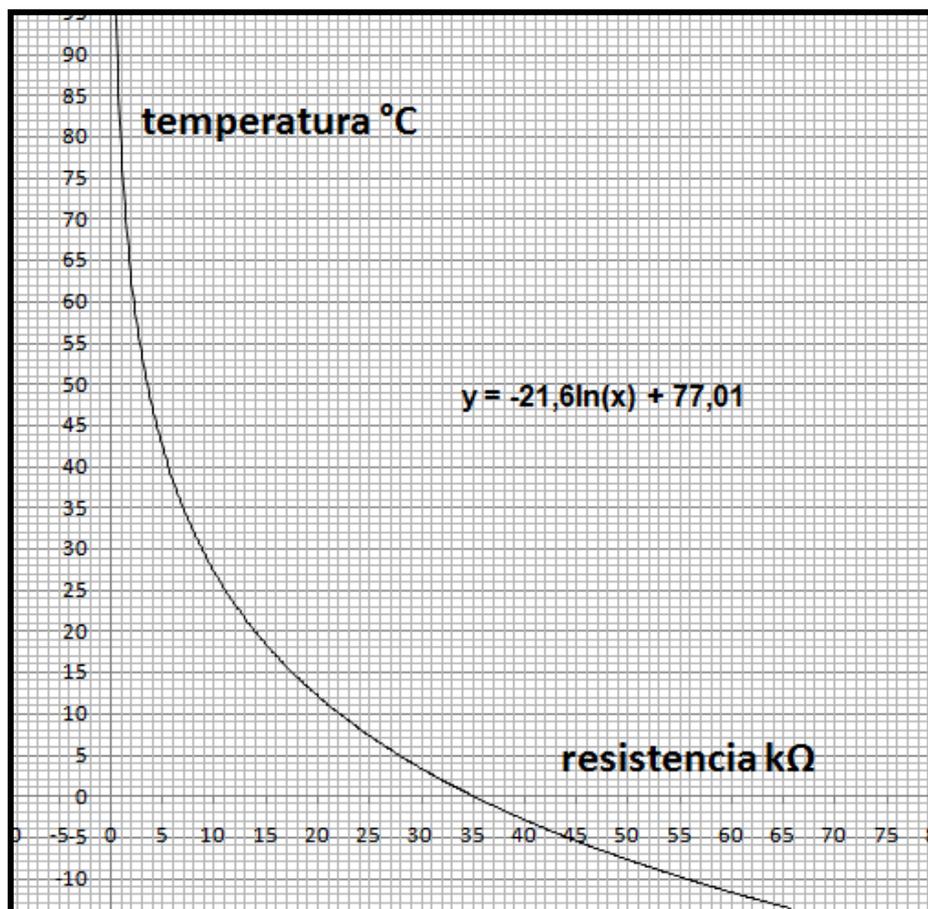


Figura 2.7. Ecuación característica de ntc

Fuente: Datasheet NTC

La máxima corriente se obtendrá con la mínima resistencia que es de $9\text{k}\Omega$ y el voltaje al que se trabaja es de 5v .

El divisor de voltaje quedaría de la siguiente manera:

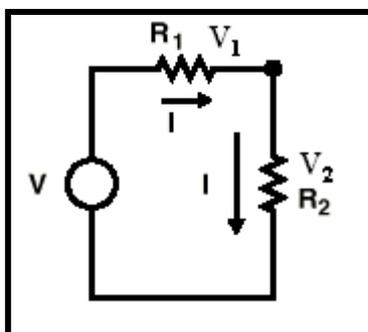


Figura 2.8. Divisor de voltaje

Fuente: Autor

Ecuación 2.6 Ley de ohm

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

$$0,25mA = \frac{5V}{R1 + 9k\Omega}$$

$$R1 = \frac{5V - 9k\Omega * 0,25mA}{0,25mA}$$

$$R1 = 11k\Omega$$

Por lo general no existen resistencias de 11kΩ en el mercado, la más cercana es de 10kΩ

$$I = \frac{5V}{19k\Omega}$$

$$I = 0,263mA$$

La corriente sigue siendo muy pequeña por lo tanto está bien seleccionar la resistencia de 10 kΩ para el divisor de voltaje.

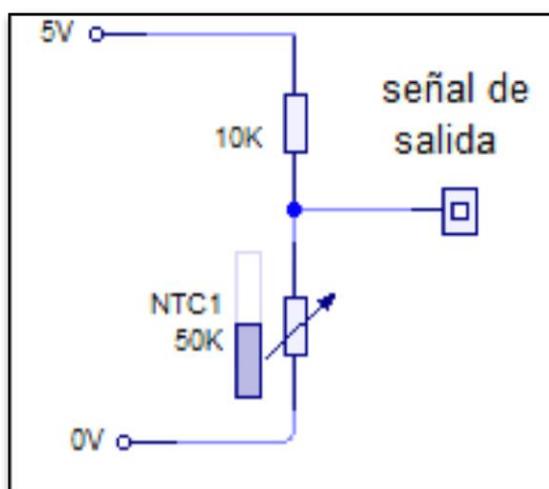


Figura 2.9. Circuito para sensor de temperatura

Fuente: Autor

Al ser una ntc posee un coeficiente de temperatura negativo, es decir que a la medida que aumenta la temperatura el transductor reduce su resistencia.

Aplicando la formula de divisor de voltaje:

Ecuación 2.7 Voltaje NTC

$$V_{ntc} = \frac{Resistenciantc * V_{cc}}{Resistenciantc + 10k\Omega}$$

Despejando la resistencia de ntc.

Ecuación 2.8 Resistencia NTC

$$Resistenciantc = \frac{10K\Omega.V_{ntc}}{V_{cc}-V_{ntc}}$$

Como el voltaje de la ntc va a ser leído por el canal analógico la ecuación expresada en función del valor del canal quedaría:

$$V_{cc} = 5v$$

Para un canal analógico de resolución 10 bits se tiene que:

$$V_{ntc} = \frac{5 * ADC}{1024}$$

Reemplazando en la ecuación 2.8 y simplificando se tiene:

Ecuación 2.9 Resistencia NTC en función del ADC

$$Resistenciantc = \frac{10K\Omega.ADC}{1024-ADC}$$

Sabiendo el valor de la resistencia ahora solo queda reemplazar en la ecuación característica para obtener el valor de temperatura.

Ecuación 2.10 Ecuación de Temperatura

$$T = -21,6 \ln(R) + 77,01$$

Donde: T = temperatura

R=resistencia de la ntc

2.4. MICROCONTROLADOR

2.4.1. SELECCIÓN DE MICROCONTROLADOR

El microcontrolador que se necesita es uno que posea los siguientes recursos: conversor análogo-digital para la lectura de temperatura y densidad, memoria no volátil para poder guardar los parámetros de configuración tales como la densidad mínima y máxima a la cual puede ser aceptada la leche, factores de calibración, etc. Además se necesita un gran número de entradas/salidas para poder conectar los diferentes elementos que intervienen en el sistema.

Tabla 2.3. Microcontroladores

Microcontrolador	Canal analógico	Memoria no volátil	Numero de pines	OSCILADOR INTERNO
Pic 16f88	SI	NO	18	31KHZ - 8MHZ
Pic 16f628	SI	SI	18	37KHZ - 4MHZ
Pic 18f4550	SI	SI	40	4MHZ – 48 MHZ

Fuente: Autor

El microcontrolador seleccionado es el PIC 18f4550 debido principalmente por su memoria EEPROM, la gran velocidad de procesamiento de instrucciones, el gran número de entradas/salidas digitales y los convertidores análogos digitales que posee.

2.4.2. DIAGRAMA DE FLUJO

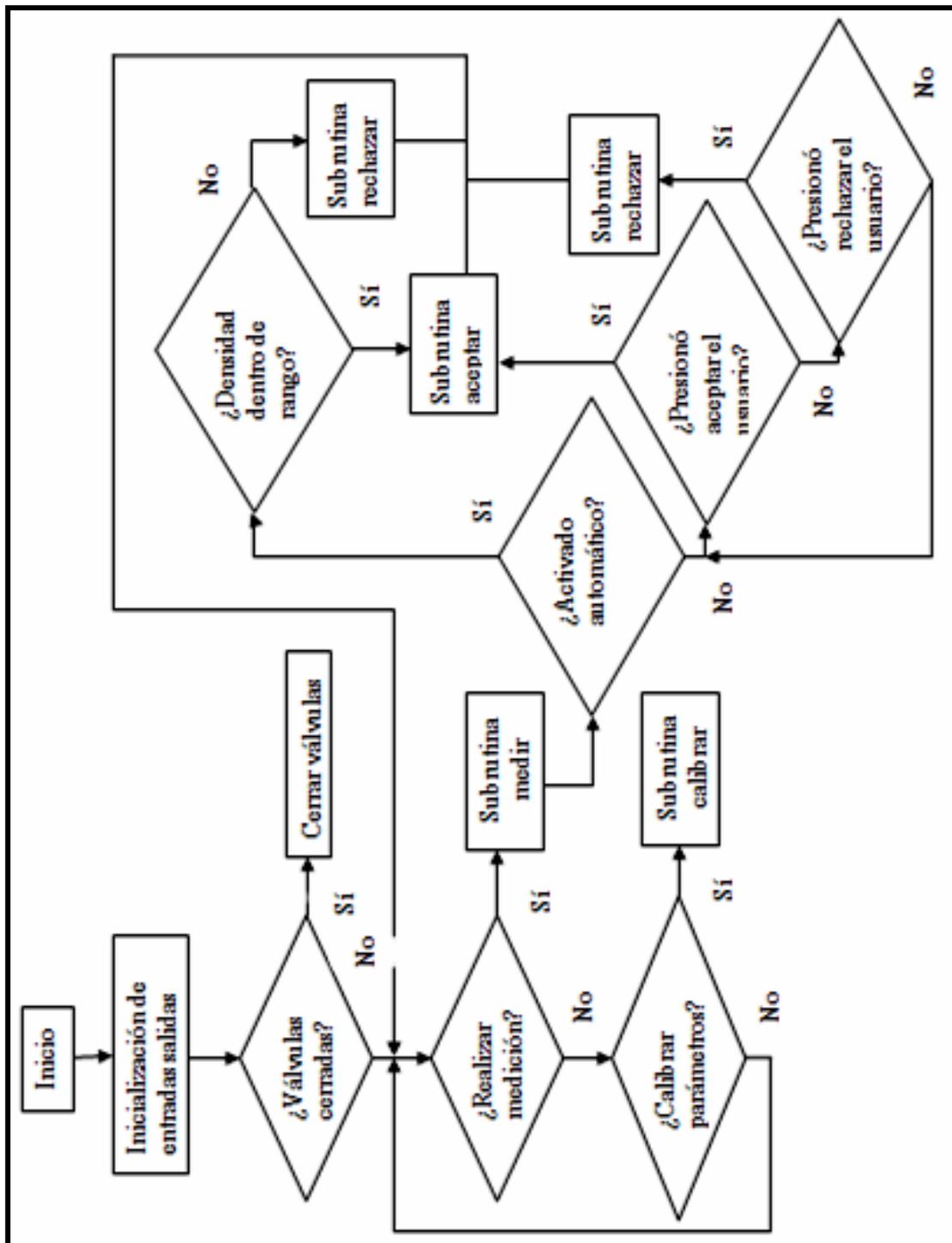


Figura 2.10. Diagrama de flujo del medidor de Densidad

Fuente: Autor

2.4.3. SUBROUTINA MEDIR

Se empieza con un pulso que habilita la transmisión del tren de ocho pulsos a cuarenta kHz, se habilita el modulo de entrada y captura para verificar que realmente es el tren que se está emitiendo el que llega y se activa un canal analógico para medir la amplitud de la onda recibida en el quinto pulso, luego se activa otro canal analógico y se toma la lectura de la ntc y se calcula la temperatura. Este procedimiento se realiza por cuarenta veces y se calcula la densidad y retorna al programa principal.

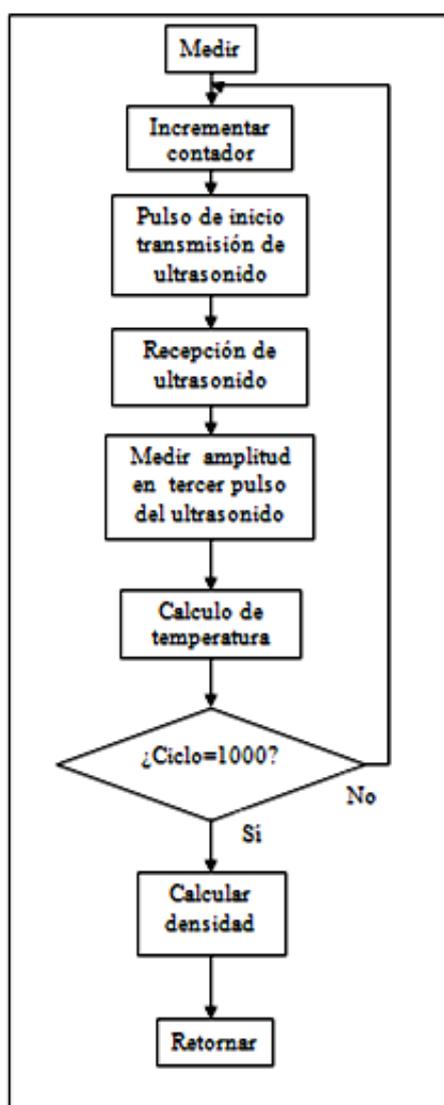


Figura2.11. Subrutina medir

Fuente: Autor

2.4.3.1. Medición de la densidad

Tomando en cuenta la ecuación 1.6, la superficie de una esfera, para el caso del transductor empleado que se utiliza es la de un círculo ubicado a una distancia constante de la fuente sonora por lo tanto hay que incluir un factor en la superficie para que compense la ecuación debido a este caso.

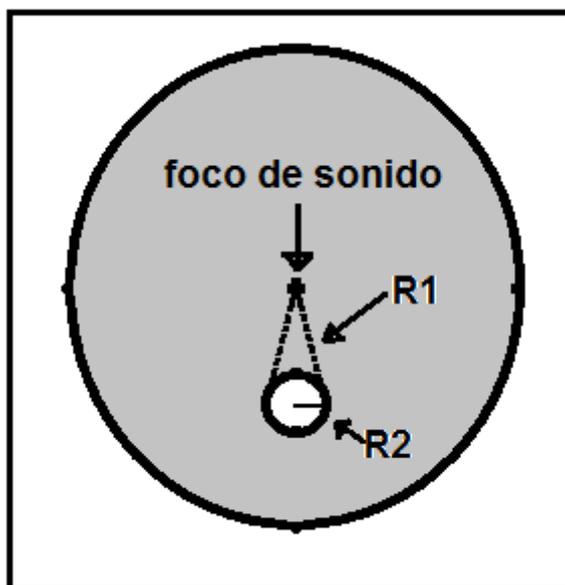


Figura 2.12. Relación entre área de la esfera y área del círculo

Fuente: Autor

Ecuación 2.11 Factor de corrección

$$factor = \frac{area\ 2}{area\ 1}$$

$$factor = \frac{\pi \cdot R2^2}{4\pi \cdot R1^2} \quad \text{Ecuación 2.12}$$

R1 es el radio de la esfera y también es la distancia entre el emisor y receptor del sensor de ultrasonido y por construcción es 50cm

R2 es el radio del receptor que es 7 mm.

$$factor = \frac{\pi \cdot 0,007^2}{4\pi \cdot 0,5^2} = 0,000049$$

Reemplazando en la ecuación 1.6:

$$P = \sqrt{\frac{\text{potencia}}{\text{superficie} \cdot \text{factor}}} \rho \cdot c$$

Despejando ρ :

Ecuación 2.13 densidad

$$\rho = \frac{\text{superficie} \cdot \text{factor} \cdot P^2}{\text{potencia} \cdot c}$$

Análisis dimensional:

$$[\rho] = \frac{[L]^2 [M]^2 [L]^{-2} [T]^{-4}}{[L]^2 [M] [T]^{-3} [L] [T]^{-1}}$$

Simplificando:

$$[\rho] = [M] [T]^{-3}$$

Trabajando en el SI se tendría:

$$\rho = \frac{Kg}{m^3}$$

El valor de P (presión del sonido) como se mencionó en el capítulo anterior es aproximadamente 101 325 Pa. El valor de c (velocidad del sonido en leche) para la leche es aproximadamente de 1 500 m/s a una temperatura de 15°C.

Reemplazando datos en la ecuación 2.13:

Ecuación 2.14 Ecuación para cálculo de densidad

$$\rho = \frac{4\pi \times 0,5^2 m^2 \cdot 0,000049 \cdot (101325 Pa)^2}{\text{potencia} \cdot 1500 m/s}$$

La potencia que está relacionada directamente con la amplitud de la onda es lo que se analizará en el microcontrolador para realizar el cálculo de la densidad.

2.4.3.2. Cálculo de amplitud a través del canal analógico

El microcontrolador tiene un módulo conversor análogo-digital que permite obtener un número de 10 bit a partir de una entrada analógica. La entrada a ser analizada es el tren de pulsos de 40 kHz y lo que interesa medir es su amplitud.

Con los 10 bit se puede obtener una resolución de:

Ecuación 2.15 Resolución del conversor análogo digital

$$resolución = \frac{5\text{ v}}{2^{10}} = 0.00488\text{ v}$$

Los valores aceptables de densidad están entre 1028 y 1034 kg/m³ se debe analizar si la resolución es suficiente para obtener una buena sensibilidad en la medición.

Reemplazando 1028 en la ecuación 2.14 y despejando la potencia se tiene:

$$potencia = 1,0249 \frac{N \cdot m}{s} = 1,0249W$$

$$\frac{voltaje^2}{Resistencia} = 1,0249W$$

Por construcción del sensor se tiene que resistencia= 100Ω

Entonces se tendría que el voltaje para una densidad de 1028 kg/m³ es:

$$voltaje_a = 10,124v$$

Haciendo el mismo procedimiento con la densidad de 1034 se tendría un voltaje de:

$$voltaje_b = 10,094v$$

La diferencia entre el voltaje_a y el voltaje_b es:

$$voltaje = 0,0294v$$

Si se tiene una resolución de 0,00488 v entonces el número de datos que puede obtenerse en este rango es:

$$\#datos = \frac{0,0356v}{0,00488v} = 6,024$$

Entonces se tiene que el número de datos para el rango de 1028 a 1034 es de 6, entonces por cada incremento de una unidad en la densidad se tendría un incremento de una unidad en la lectura del canal análogo-digital.

2.4.3.3. Compensación debido a la temperatura

La densidad está definida como la masa contenida en una unidad de volumen, el volumen de un cuerpo al ser sometido a temperatura tiende a dilatarse por eso es necesario realizar una compensación del sistema debido a la temperatura para obtener una lectura constante de una misma muestra a temperaturas diferentes.

Al dilatarse el cuerpo sus partículas están más separadas y se ve afectada la velocidad con que viaja el sonido a través de él. Para compensar el sistema se aplica la siguiente fórmula:

Ecuación 2.16 Velocidad del sonido en un líquido

$$c = 1448,96 + 4,591T - 5,304 \cdot 10^{-2}T^2 + 2,374 \cdot 10^{-4.2}T^3$$

Fuente: (Wikipedia, 2011)

Reemplazando en lugar del valor constante de 1500 m/s en la ecuación 2.14.

$$\rho = \frac{4\pi \times 0,5^2 m^2 \cdot 0,000049 \cdot (101325 Pa)^2}{potencia \cdot (1448,96 + 4,591T - 5,304 \cdot 10^{-2}T^2 + 2,374 \cdot 10^{4.2}T^3) m/s}$$

$$\rho = \frac{4\pi \times 0,5^2 m^2 \cdot 0,000049 \cdot (101325 Pa)^2}{v^2 \cdot 100\Omega \cdot (1448,96 + 4,591T - 5,304 \cdot 10^{-2}T^2 + 2,374 \cdot 10^{4.2}T^3) m/s}$$

El voltaje es calculado de acuerdo al conversor análogo digital; para este caso es de 10 bit a un voltaje de referencia de 5v por lo tanto el voltaje en función del conversor análogo digital sería la siguiente:

$$v = 5 * ADC/1024$$

Finalmente la ecuación que será ingresada en el microprocesador será la siguiente:

$$\rho = \frac{4\pi \times 0,5^2 m^2 \cdot 0,000049 \cdot (101325 Pa)^2}{\left(\frac{5 \cdot ADC}{1024}\right)^2 \cdot 100\Omega \cdot (1448,96 + 4,591t - 5,304 \cdot 10^{-2}t^2 + 2,374 \cdot 10^{4.2}t^3) m/s}$$

2.4.4. SUBROUTINA ACEPTAR Y RECHAZAR

Después de realizar la medición de la densidad pasa a verificar si esta en automático, de ser verdadero compara si la densidad medida está dentro del rango establecido y va a la subrutina aceptar en caso contrario va a la subrutina rechazar. Si no está en modo automático el programa espera que tome una decisión el operador de aceptar o rechazar y retorna al programa principal.

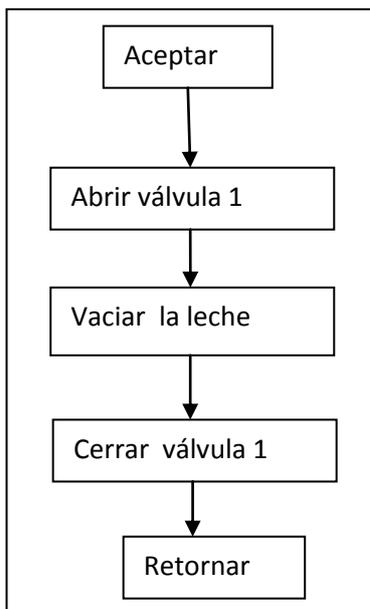


Figura 2.13. Subrutina aceptar

Fuente: Autor

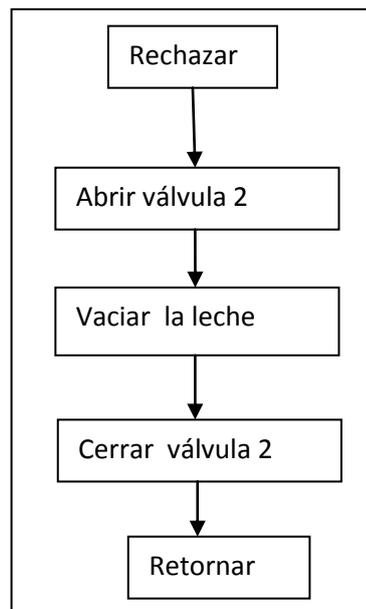


Figura 2.14. Subrutina rechazar

2.5. VISUALIZACIÓN DE DATOS

Los datos serán visualizados en una pantalla LCD 16*2 azul ubicada en el panel de control la cual mostrará el valor de la densidad y la temperatura a la cual se encuentra la leche analizada.

2.6. ACTUADORES

Los actuadores son dos válvulas accionadas eléctricamente, las válvulas son de 50mm para obtener una descarga rápida del producto. Las mismas que están dentro de una cubierta de acero inoxidable para su fácil limpieza en caso de que se derrame leche sobre ellas; funcionan a 12 voltios de corriente continua y un amperaje de 200 mA.

CAPÍTULO III

3. ELABORACIÓN DEL SISTEMA DE MEDICIÓN DE DENSIDAD DE LA LECHE

3.1. PANEL DE CONTROL

3.1.1. BOTONES DEL PANEL DE CONTROL

El panel de control consta de las siguientes partes:

Botón on-off.- encendido y apagado del sistema.

Botón de Automático-Manual.- para seleccionar el modo de operación.

Botón calibrar.- ingresa a la calibración de parámetros.

Botón +.- incrementa el valor de los parámetros y para abrir las dos válvulas para el lavado cuando es presionado juntamente con el botón -.

Botón -.- disminuye el valor de los parámetros y abre las dos válvulas para el lavado cuando es presionado juntamente con el botón +.

Botón Medir.- realiza la medición de la densidad.

Botón Aceptar.- en modo manual acepta la leche permitiendo el paso al proceso productivo.

Botón rechazar.- en modo manual rechaza la leche para ser devuelta al proveedor.



Figura 3.1. Panel de control

Fuente: Autor

3.1.2. CIRCUITO Y PLACA DEL PANEL DE CONTROL

El diseño se basa en brindar todas las facilidades de conexión de los diferentes componentes que intervienen en el sistema y brindar la mayor facilidad posible para montar y desmontar la placa principal en caso de necesitarlo.

De igual manera los circuitos integrados están colocados en sócalos, para ser manipulados o reemplazados en caso de que presenten algún daño. El panel de control se comunica con la placa a través de un bus de datos, al igual que la LCD. Para las señales de entrada y salida se han colocado borneras para su fácil conexión.

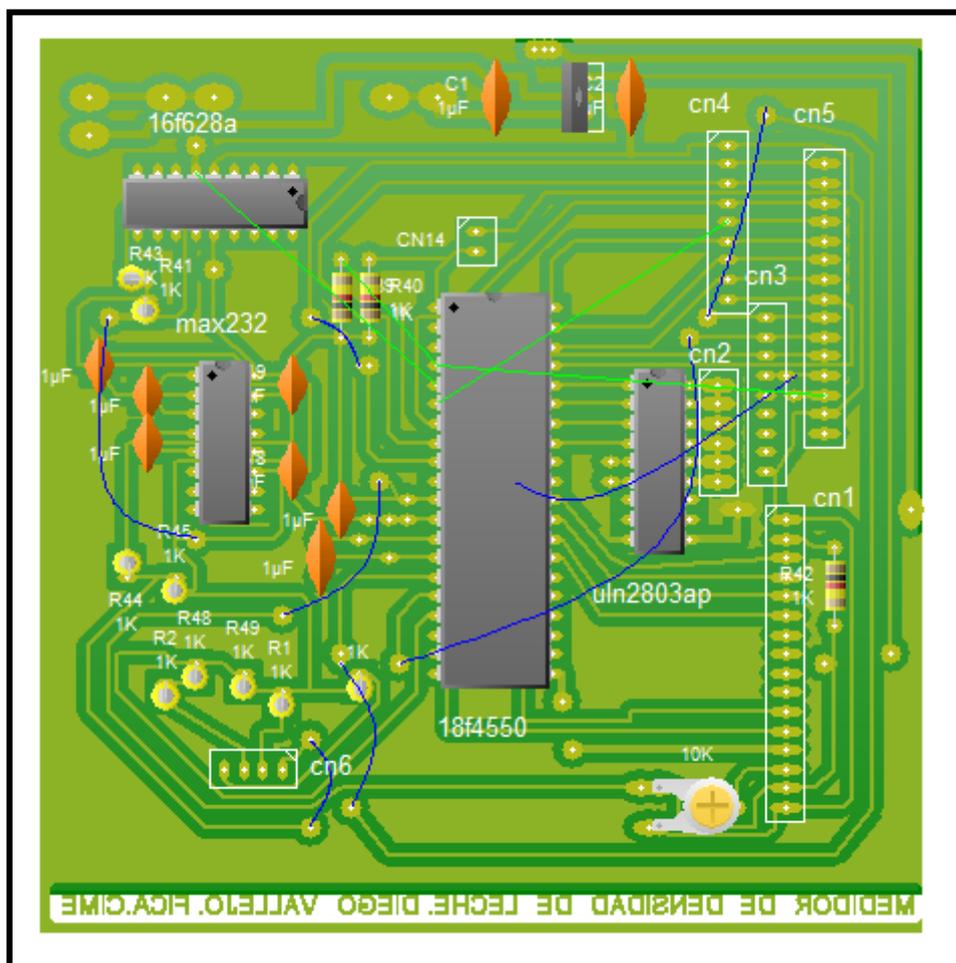


Figura 3.3. Placa del medidor de densidad

Fuente: Autor

Los circuitos integrados que intervienen en la placa son:

- PIC16f628a
- PIC18f4550
- L293d
- 7805

Cn1 está destinada para la pantalla LCD

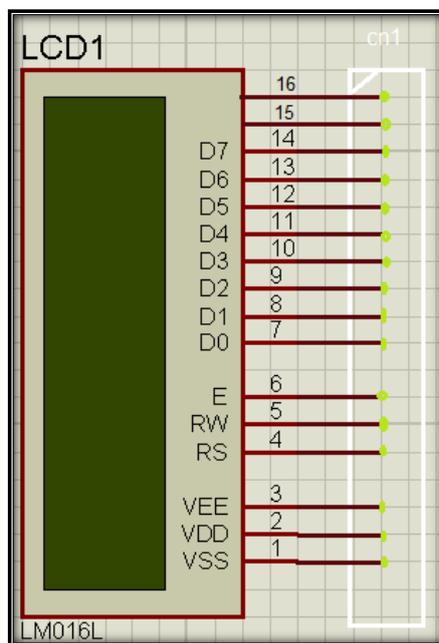


Figura 3.4: Conexión de cn1

Fuente: Autor

Cn2 es la salida hacia las electroválvulas.

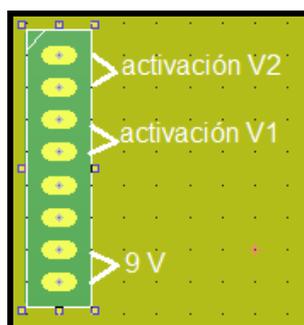


Figura 3.5. Conexión de cn2

Fuente: Autor

Cn4 y cn3 son paquetes de resistencia de 1KΩ.

Cn5 es el bus para el panel de control

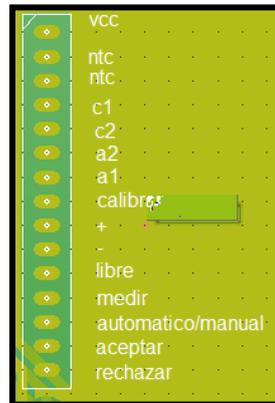


Figura 3.6. Conexión de cn5

Fuente: Autor

Cn6 son los pines para tx y rx del sensor de ultrasonido

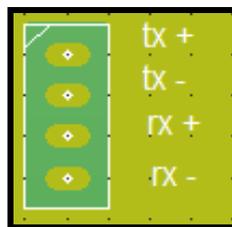


Figura 3.7. Conexión de cn6

Fuente: Auto

Circuito impreso

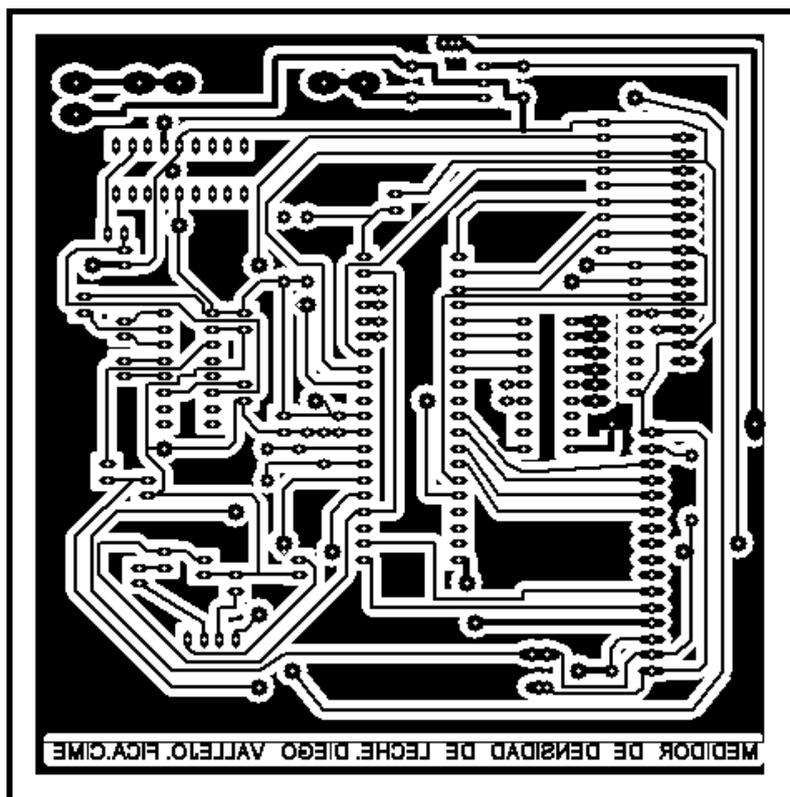


Figura 3.8. Circuito impreso de medidor de densidad

Fuente: Autor

3.1.3. PLACAS DE POTENCIA

Para la parte de potencia se ha utilizado el integrado I293d para activar las electroválvulas.

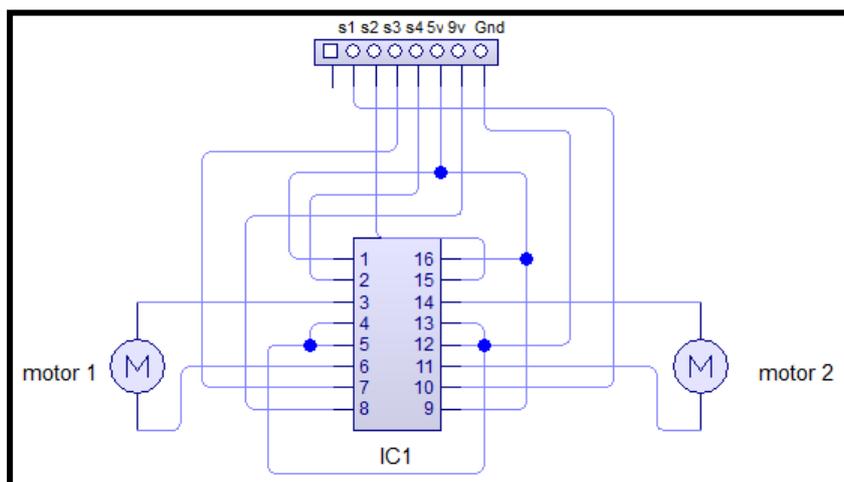


Figura 3.9. Circuito para accionamiento de electroválvulas

Fuente: Autor

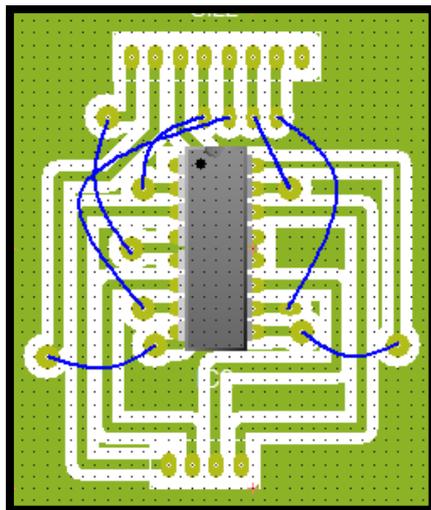


Figura 3.10. Placa de potencia

Fuente: Autor

CIRCUITO IMPRESO

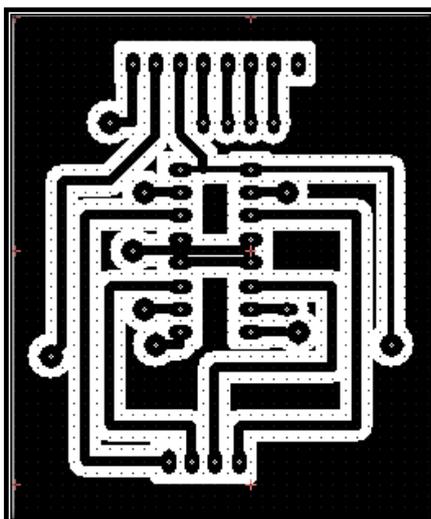


Figura 3.11. Circuito impreso de placa de potencia

Fuente: Autor

3.2. UBICACIÓN DE TRANSDUCTORES

El sistema de medición está instalado en un recipiente de 40 litros, dicho recipiente es de aluminio y tiene cuatro perforaciones: dos perforaciones de 1,8 cm para la colocación de los sensores de ultrasonido que se acoplan mediante un acople de caucho para impedir fugas de leche.



Figura 3.12. Orificio para sensores de ultrasonido

Fuente: Autor

Otro orificio es de 7mm para la colocación del sensor de temperatura, de la misma manera que los sensores de ultrasonido, este se une mediante un caucho para evitar fugas de leche y su fácil montaje y desmontaje para su correcta limpieza.



Figura 3.13. Orificio para sensor de temperatura

Fuente: Autor

Finalmente se tiene un orificio en la base del recipiente de 4,5 cm por el cual se descarga la leche, en este lugar se encuentra una junta universal con la cual se acopla a las electroválvulas para la selección de la leche.



Figura 3.14. Orificio para descarga de leche

Fuente: Autor

3.3. ESTRUCTURA DE SOPORTE

La estructura en la cual va a ser montado todo el sistema debe ser hecha en un material sanitario y que soporte el peso producido por los cuarenta litros que es la capacidad máxima del sistema. La mejor opción es una estructura de aluminio debido a que no se oxida y puede entrar en contacto con la leche o el agua y debido a su bajo costo en comparación con una estructura en acero inoxidable que cumpla el mismo propósito.

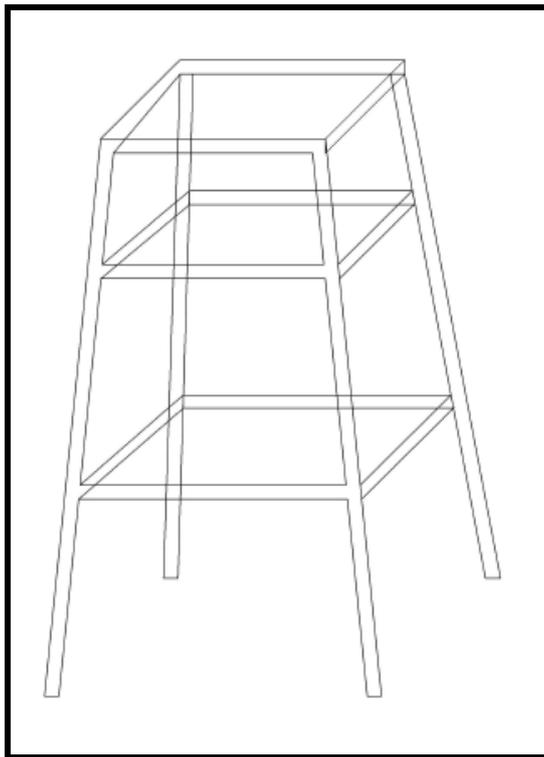


Figura 3.15: Estructura de soporte

Fuente: Autor

3.4. CABLEADO

La selección de cables se realiza según la carga máxima del sistema, el consumo de los componentes del sistema se detalla a continuación:

Tabla 3.1. Consumo de energía del sistema

Elemento	Voltaje	Amperaje
Electroválvula 1	12 V CD	400 mA
Electroválvula 2	12 V CD	400 mA
Pantalla LCD	5 V CD	100 mA
Microcontrolador	5 V CD	100 mA
TOTAL		1 A

Fuente: Autor

La máxima carga que deben soportar los cables es de 1 A a 12 V CD, ahora se debe calcular la corriente que deben soportar los cables de alimentación de

corriente alterna ubicados antes de llegar a los transformadores y rectificadores que alimentan a todo el sistema:

La potencia que ingresa a un transformador es igual a la potencia de salida despreciando algunas pérdidas.

Ecuación 3.1 Potencia

$$Potencia\ de\ entrada = Potencia\ de\ salida$$

Fuente: Maquinas Electricas, MvGraw-hill

La potencia de salida es la requerida por el sistema, por lo tanto:

$$Potencia\ de\ salida = V_s I_s \cos\theta$$

Donde: V_s = voltaje en el secundario

I_s = corriente en el secundario

$\cos\theta$ = factor de potencia

Si se conoce que el factor de potencia es uno, el voltaje en el secundario es de 12V y la corriente 1A se tiene que la potencia de salida del transformador es:

$$Potencia\ de\ salida = 12 * 1 * 1 = 12w$$

Reemplazando en la ecuación 3.1

$$Potencia\ de\ entrada = 12w$$

La fórmula para calcular la potencia de entrada es la siguiente:

$$Potencia\ de\ salida = V_p I_p \cos\theta$$

Donde: V_p = voltaje en le primario

I_p = corriente en el primario

Se tendría que:

$$12W = 110v I_p 1$$

Despejando la corriente:

$$I_p = 0,109 A$$

En resumen se tiene que para la entrada se necesita un conductor que soporte 0,109 A por lo que basándose en la tabla AWG sería suficiente con un cable # 31 AWG pero debido a que el cable estará expuesto a inclemencias del tiempo y maltrato por parte del usuario se ha decidido utilizar un cable un cable # 18 AWG x 2 C el cual posee una excelente cubierta protectora.

De igual manera el cable de alimentación para los motores sería suficiente un cable # 21 AWG pero por lo expuesto para el caso del cable de alimentación se ha decidido colocar un cable # 18 AWG x 4.

Para los cables de los sensores lo más importante es que posea un blindaje para obtener una mejor transmisión y recepción de señales, por lo que se ha decidido emplear un cable de micrófono el cual posee todas las características requeridas para el sistema.

CAPÍTULO IV

4. CALIBRACIÓN DEL SISTEMA

4.1. ANÁLISIS Y CORRECCIÓN DE ERRORES

La calibración del sistema se la realizó utilizando el medidor de densidad MILKOTESTER Master Eco, el cual es un equipo portátil con diseño compacto de muy simple utilización, mantenimiento, calibración e instalación. Cuenta con una bomba peristáltica para la toma de la muestra y un reloj con fecha y hora. Requiere una cantidad de leche muy pequeña para realizar el análisis y consume también poca energía. No requiere químicos peligrosos. El equipo permite tanto el análisis de leche, suero y sus derivados. Cuenta con un puerto RS232 para conectarlo a una impresora o computadora. Puede regularse el ajuste de precisión por el usuario a través de esta interface. La conexión también puede ser por USB. Incluye 2 patrones para auto calibración. Tiempo de respuesta entre 40 y 60 segundos.

Rangos de medición		Rangos de error permisible	
Grasa	0.00% ÷ 25%	Grasa	± 0.10%
Sólidos no grasos	3% ÷ 15%	Sólidos no grasos	± 0.1%
Densidad	1015 ÷ 10 40 kg/m ³	Densidad	± 0.3 kg/m ³
Proteína	2% to 7%	Proteína	± 0.15%
Lactosa	0.01 % ÷ 6 %	Lactosa	± 0.1%
Agua adicionada	0 % ÷ 70 %	Agua adicionada	± 3.0%
Temperatura	1 °C ÷ 40 °C	Temperatura	± 1°C
Punto de crioscopia	- 0,3 ÷ - 0,7 °C	Punto de crioscopia	± 0.005°C
Sales	0,4 ÷ 1,5%	Sales	± 0.05%
pH	0 ÷ 14	pH	± 0.05
Conductividad	2 ÷ 10 [mS/cm]	Conductividad	± 0.1

Figura 4.1. Especificaciones MILKOTESTER

Fuente: prolact.com/pdf/mastereco.pdf

4.1.1. ANÁLISIS DE TEMPERATURA

La prueba se realizó a una muestra de leche sometiéndola a diferentes temperaturas, con el medidor MILKOTESTER y con el medidor construido, obteniendo los siguientes datos:

Tabla 4.1. Datos de lecturas realizadas

MILKOTESTER		Medidor diseñado	
TEMP. °C	DENSIDAD	TEMP. °C	DENSIDAD
9,34	26,2	13,33	30,56
10,11	26,2	13,59	29,6
11,58	26,2	14,87	28,9
11,75	26,2	15,38	27,8
14,59	26,2	17,43	28
14,78	26,2	17,69	27,2
17,85	26,2	20	27,1
18,06	26,2	20,26	27,2
19,42	26,2	21,53	27
20,98	26,2	22,56	26,2
25,47	26,2	25,64	23
25,58	26,2	26,15	24,2
31,34	26,2	30,77	20,5
31,78	26,2	31,28	19,5
37,63	26,2	37,95	18,3

Fuente: Autor

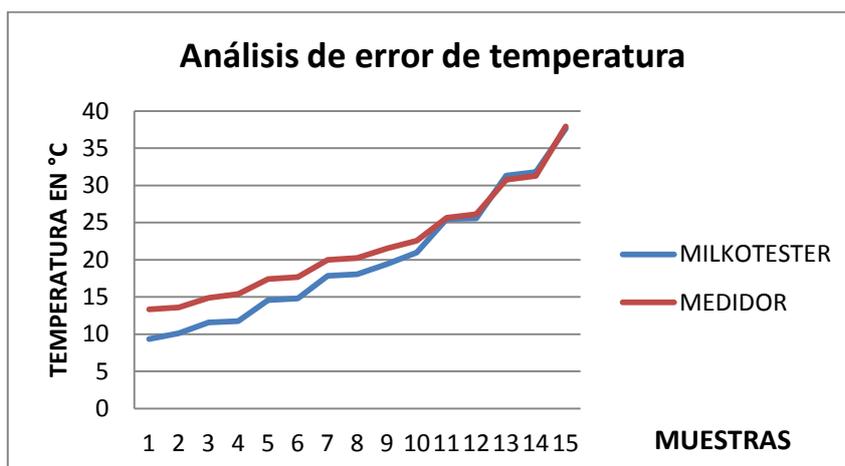


Figura 4.2. Análisis de error de temperatura

Fuente: Autor

En la gráfica se observa que con los datos obtenidos en la primera prueba, el error es inversamente proporcional a la temperatura, es decir a medida que disminuye la temperatura aumenta el error.

El error se debe a la tolerancia de las resistencias utilizadas para el divisor de voltaje de donde se toman las lecturas para el cálculo de la temperatura.

Por lo tanto se procede a realizar un ajuste de curvas para obtener el factor de compensación en la ecuación de la temperatura, tomando en cuenta los datos de la tabla 4.1.

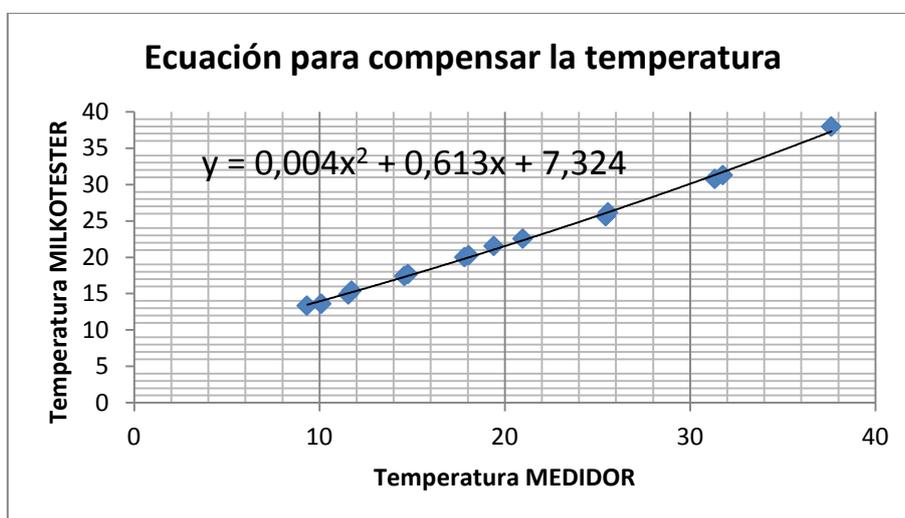


Figura 4.3. Ecuación para compensar temperatura

Fuente: Autor

Donde:

y= temperatura real tomada con el MILKOTESTER.

x= temperatura obtenida con el medidor diseñado.

Aplicando este factor de corrección y realizando la misma prueba se obtuvo los siguientes datos:

Tabla 4.2. Medición de temperatura

TEMPERATURA	
MILKOTESTER	MEDIDOR
28,12	28,39
24,05	24,32
23,85	24,02
21,01	21,04
17,12	17,29
15,93	16,09
12	12,1

Fuente: Autor

Realizando una grafica de los datos obtenidos:

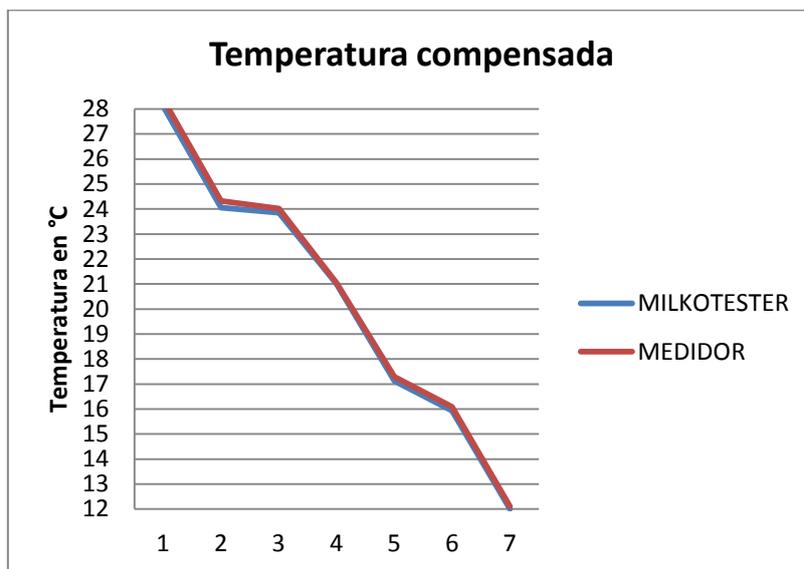


Figura 4.4. Temperatura compensada

Fuente: Autor

Para calcular el error porcentual se utilizará la siguiente fórmula:

Ecuación 4.1 Error porcentual

$$e = \frac{l_t - l_r}{l_r} \cdot 100\%$$

Fuente: Física 1 Holguín

Donde: l_t = lectura tomada

l_r = lectura real

Calculando el error para cada medición realizada se obtuvo lo siguiente:

Tabla 4.3. Cálculo del error en la temperatura

MEDICIÓN DE TEMPERATURA		
MILKOTESTER	MEDIDOR DISEÑADO	e %
28,12	28,39	0,96
24,05	24,32	1,12
23,85	24,02	0,71
21,01	21,04	0,14
17,12	17,29	0,99
15,93	16,09	1,00
12	12,1	0,83

Fuente: Autor

La temperatura obtenida por el medidor diseñado tiene un error máximo de 1,12% que es aceptable debido a que un error de esta dimensión no afecta en el cálculo de la densidad por lo tanto la temperatura ha sido compensada.

4.1.2. ANÁLISIS DE LA DENSIDAD

La prueba que se realizó es de tomar varias lecturas de dos muestras, obteniendo los siguientes datos:

Tabla 4.4. Medición de densidad

densidad	
muestra 1	muestra 2
26,15	28,1
25,03	27,65
24,45	26,7
27,5	27,1
26,45	29,1

Fuente: Autor

Como se puede observar en la tabla las lecturas son bastante inestables por lo cual se ha incluido un filtro digital iir el cual absorbe los impulsos que causan variación en la salida, el filtro iir se realimenta con la lectura anterior y conjuntamente con la lectura actual se actualiza incluyendo un factor de amortiguamiento que permite absorber los sobre impulsos. Por lo cual se debe realizar varias mediciones para aplicar el filtro y encontrar el valor adecuado de

lag factor, en base a varias pruebas se determinó que el mejor número de mediciones es de 25 con una demora de 5 segundos en cada medición y un lag factor de 1/6. Obteniendo los siguientes datos:

Tabla 4.5. Medición de densidad

Densidad	Temperatura
31,25	19,47
31,53	19,58
31,59	19,65
31,09	19,79

Fuente: Autor

De acuerdo a los datos observados en la tabla anterior se presenta una mejora en la lectura de la densidad en la muestra.

En otra prueba se tomó tres muestras de leche con diferente contenido de agua: desde 0 hasta 20% de contenido de agua. Es decir la primera muestra tendrá leche pura, la siguiente muestra un 10 % de agua, la tercer muestra un 20% de agua. Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4.6. Medición de densidad con muestras adulteradas

	Medidor		MILKOTESTER	
	densidad	temperatura °C	densidad	temperatura °C
leche pura	30	17,17	31	17,1
	30	17,17	31	17,1
	30	17,16	31	17,1
	29	17,16	31	17,1
	30	17,23	31	17,1
	30	17,32	31	17,1
leche con 10%de agua	28	17,01	28	17,1
	28	17,06	28	17,1
	28	17,07	28	17,1
	28	17,14	28	17,1
	28	17,12	28	17,1
leche con 20% de agua	26	17,46	25	17,5
	26	17,49	25	17,5
	26	17,6	25	17,5
	26	17,74	25	17,5
	26	17,62	25	17,5

Fuente: Autor

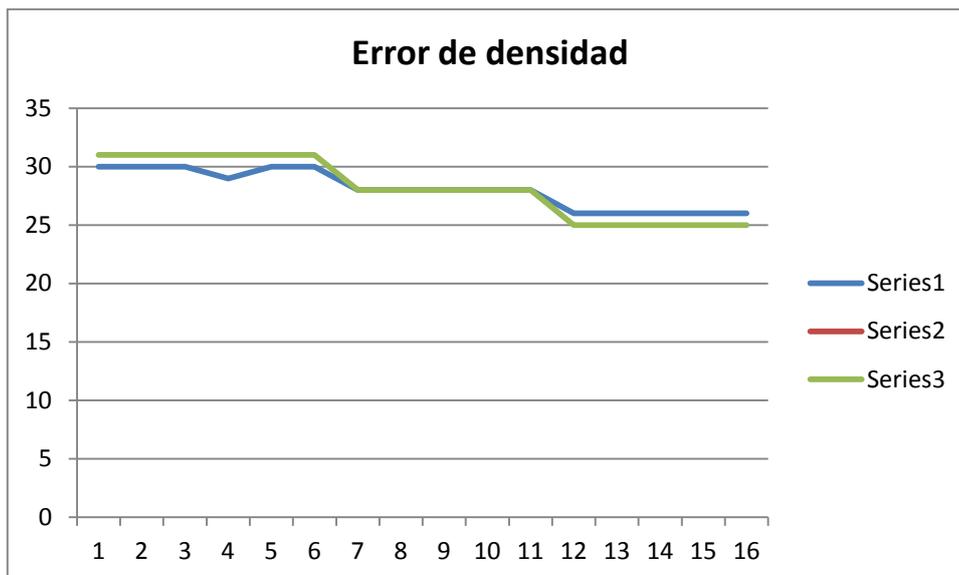


Figura 4.5. Error de densidad

De igual manera que se procedió en la corrección de la temperatura se procede a realizar un ajuste de curvas para obtener un factor de corrección.

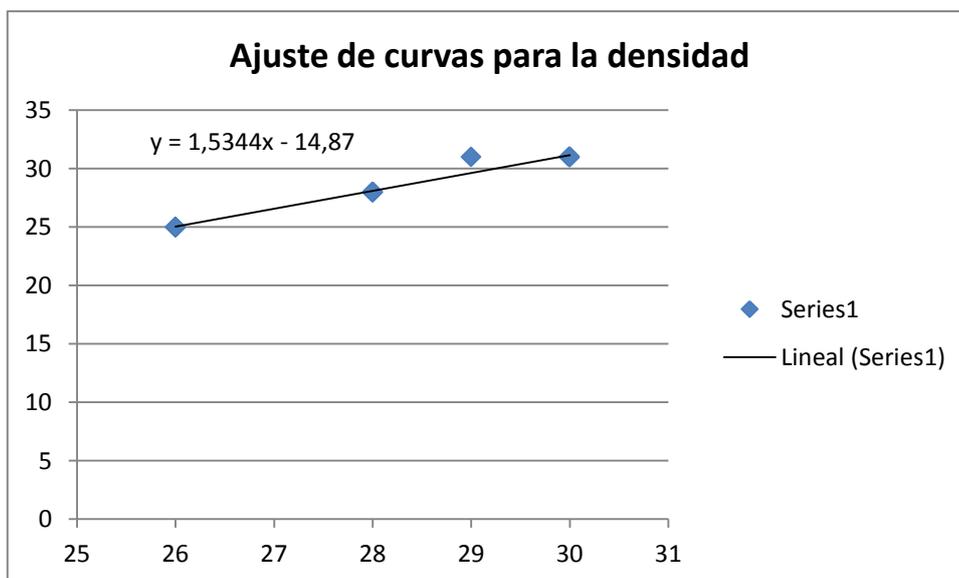


Figura 4.6. Ajuste de curvas para la densidad

Fuente: Autor

Donde “y” representa la densidad real medido con el MILKOTESTER y “x” es la densidad obtenida con el medidor diseñado.

Una vez calculado el factor de corrección se aplica en la ecuación de la densidad y se obtiene los siguientes valores:

Tabla 4.7. Medición de densidad con muestras adulteradas

	Medidor		MILKOTESTER	
	Densidad	Temperatura	Densidad	Temperatura
Leche pura	29,7	27,22	29	27,2
	29,46	27,32	29	27,2
	29,24	25,02	29	25
	29,3	24,86	29	25
	29,51	22,32	29	22,3
	29,18	21,81	29	21,8
	28,93	21,88	29	21,8
Leche con 10% de agua	26,47	19,86	26	19,8
	26,53	19,8	26	19,8
	27,01	19,72	26	19,8

Fuente: Autor

Con estos datos se calcula el error relativo porcentual que es con respecto al medidor de densidad MILKOTESTER y el error real que se calcula incluyendo el error que posee el medidor tomado de referencia, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 4.8. Medición de densidad con muestras adulteradas

	Medidor		MILKOTESTER		Error relativo er%	Error real E%
	Densidad	Temperatura	Densidad	Temperatura		
leche pura	29,7	27,22	29	27,2	2,4	2,401
	29,46	27,32	29	27,2	1,6	1,601
	29,24	25,02	29	25	0,8	0,801
	29,3	24,86	29	25	1,0	1,001
	29,51	22,32	29	22,3	1,8	1,001
	29,18	21,81	29	21,8	0,6	0,601
	28,93	21,88	29	21,8	-0,2	0,201
leche con 10% de agua	26,47	19,86	26	19,8	1,8	1,801
	26,53	19,8	26	19,8	2,0	2,001
	27,01	19,72	26	19,8	3,9	3,901

Fuente: Autor

En el análisis de las muestras tomadas, el máximo error en la medición de la densidad es de 3,901 %; el mismo que se produce por la variación en las lecturas del canal analógico para una misma muestra.

Con el fin de reducir la variación de la medición de la densidad se ha decidido presentar solo números enteros, es decir eliminar los decimales.

4.2. ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO

La incorporación de agua en la leche genera pérdidas económicas ya que la producción de quesos se reduce en un 16%, es decir, la empresa tiene una producción de 150 quesos diarios y cuando se presenta este problema se tiene una producción de 126 quesos. El problema no tiene una frecuencia diaria pero se produce por lo menos dos días a la semana.

Con el aguado de la leche hay una disminución en la producción de quesos pero los costos para obtener el producto final son los mismos. Las pérdidas son las siguientes:

Tabla 4.9. Perdidas por aguado de la leche

Factor	Valor diario	Valor mensual
Reducción de la producción	\$ 48	\$ 348
Gasto de gas	\$ 0,5	\$ 4
Mano de obra	\$ 1,5	\$ 12
TOTAL		\$ 364

Fuente: Autor

El analizador de leche MILKOTESTER tiene un costo en el mercado de 1 600 USD, valor que no es accesible para las microempresas a las cuales va orientado

el proyecto. Por tal motivo y de acuerdo a un análisis económico el medidor de densidad diseñado está presupuestado en 400 USD, siendo este más accesible.

Con el medidor de densidad se eliminan las pérdidas por aguado de leche, que son alrededor de \$ 364 mensuales, es decir con el ahorro de dichas pérdidas de dos meses sería más que suficiente para cubrir el costo del equipo. Obteniendo grandes beneficios al reducir los gastos innecesarios debido al aguado de la leche.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- El medidor de densidad diseñado controla de una manera eficiente el aguado de la leche, debido a que las leches aguadas presentan un bajo grado de densidad entre 1,020 y 1.026 g/cm³ que es fácilmente detectado por el sistema. El problema del aguado de la leche en la Lechera artesanal Marianita fue erradicado en un 100% ya que actualmente no se ha vuelto a encontrar leches que estén adulteradas gracias al permanente control de calidad.
- Con el sensor diseñado se puede observar que dependiendo del medio en que viaje la onda va a cambiar su amplitud, y aprovechando este cambio podemos analizar las propiedades físicas del líquido como en el caso de este proyecto se ha analizado la densidad. Además el ultrasonido es un método no invasivo que facilita su interacción con la materia prima sin que exista riesgo de contaminación o alteración de sus propiedades naturales.
- La temperatura es un factor muy importante dentro de la medición de la densidad de la leche, ya que dependiendo a la temperatura a la que se encuentra varia su densidad es decir por cada grado de temperatura se tiene un grado de variación en la densidad. Para el control de la leche se necesita tener un valor constante de densidad independientemente de la temperatura a la que se encuentre por lo tanto el medidor de densidad diseñado posee un factor de corrección que es calculado dependiendo a la temperatura a la que se encuentre la leche.
- De acuerdo a las pruebas de funcionamiento y calibración realizadas al sistema de medición de densidad desarrollado, el porcentaje de error se considera aceptable, tomando en cuenta que la variación en la lectura tomada sería de apenas un grado de densidad. Lo cual nos permite conocer con certeza la leche que se encuentra adulterada y la leche que se encuentra en condiciones óptimas para el proceso de producción.
- Las microempresas dedicadas al procesamiento de derivados de leche, demandan de un estricto control de la densidad de la leche, dado que este problema está representado en pérdidas económicas entre un 16 y 20% dependiendo de la cantidad de leche adulterada. Por este motivo el sistema diseñado podría ser aplicado en varias microempresas y a un bajo costo de adquisición.

5.2. RECOMENDACIONES

- Para obtener lecturas de densidad lo más precisas posible, es recomendable colocar el equipo en lugares donde no exista muchas fuentes de ruido.
- Cuando se trabaja con ultrasonido es recomendable tomar en cuenta la distancia a la cual van a estar ubicados los sensores de medición con respecto al panel de control, para evitar interferencias en las lecturas o errores de medición.
- Para realizar la medición de la densidad se recomienda primero realizar la adecuada calibración del sensor de temperatura para obtener lecturas lo más reales posibles, ya que la temperatura forma parte importante del cálculo de la densidad de la leche.
- Para un adecuado funcionamiento del sistema es necesario realizar un mantenimiento periódico que consiste en la limpieza de la estructura, sensores y válvulas de salida de leche.

BIBLIOGRAFÍA

1. Alciatore, D. G., & Hystand, M. B. (2008). *Introducción a la mecatrónica y los sistemas de medición*. México: McGraw-Hill.
2. Angulo Usategui, J. M., Ángulo Martínez, I., & Etxebarria Ruiz, A. (2007). *Microcontroladores PIC : Diseño práctico de aplicaciones*. España: McGraw-Hill.
3. Badui Dergal, S. (2006). *Química de los alimentos*. México: Pearson Educación.
4. Bolton, W. (2010). *Mecatrónica : Sistemas de control electrónico en la ingeniería mecánica y eléctrica*. México: Alfaomega.
5. Bolton, W. (2010). *Mecatrónica : Sistemas de control electrónico en la ingeniería mecánica y eléctrica*. México: Alfaomega.
6. Durán Ramírez, F., & Felipe Durán Ramírez, F. (2003). *Lácteos y derivados*. Bogotá: Grupo Latino.
7. García Jiménez, J. L., Águeda Casado, E., & Martín Navarro, J. (2009). *Técnicas básicas de mecánica y electricidad*. Paraninfo.
8. Giles, R. V. (1991). *Mecánica de los fluidos*. Madrid: McGraw-Hill.
9. López Feo, D. (2009). *Ingeniería del sonido : sistemas de sonido en directo*. Madrid: StarBook.
10. Luquet, F. (. (1993). *Leche y productos lácteos: vaca, oveja, cabra*. Zaragoza: Acribia.
11. Medoza Martínez, E., & Calvo Carrillo, M. d. (2010). *Bromatología: Composición y propiedades de los alimentos*. México: McGraw - Hill.
12. Noboru Miyadaira, A. (2009). *Microcontroladores PIC18*. Sao Paulo: ÉRICA.
13. Saha, S. K. (2010). *Introducción a la robótica*. México: McGraw-Hill.
14. Santos Moreno, A., & Villegas de Gante, A. (2009). *Manual básico para elaborar productos lácteos*. México: Trillas.
15. Serway, R. A. (1997). *Física*. México: McGraw-Hill.
16. Vuilte, C., Faughn, J. S., & Serway, R. A. (2010). *Fundamentos de Física*. México: Cengage Learning.
17. Bausá, J., García, C., Zaragoza, B., Gil, A., Moreno, D., & Galian, A. (s.f.). *Sensores de temperatura*. Recuperado el 21 de mayo de 2013, de <http://server->

- die.alc.upv.es/asignaturas/LSED/2003-04/0.Sens_Temp/ARCHIVOS/SensoresTemperatura.pdf
18. Cadiz, R. (05 de junio de 2008). *Amplitud e intensidad*. Recuperado el 10 de noviembre de 2011, de http://www.rodriocadiz.com/imc/html/Amplitud_e_intensidad.html
 19. Crespo, J. F. (10 de octubre de 2007). *Radioblog*. Recuperado el 10 de noviembre de 2011, de www.natureduca.com/radioblog/?p=7
 20. Directindustry. (s.f.). *Sensores de temperatura*. Recuperado el 03 de julio de 2012, de www.directindustry.es
 21. Duiops. (2009). *Transductor piezo-electrico*. Recuperado el 10 de noviembre de 2011, de www.duiops.net/hifi/enciclopedia/tranductor-piezoelctrico.htm
 22. *física del sonido*. (2000). Recuperado el 10 de Noviembre de 2011, de http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/rehabilitacion-logo/fisicas_del_sonido.pdf
 23. NTC.Datasheet. Recuperado el 09 de 01 de 2012, de http://www.uib.es/depart/dfs/GTE/education/industrial/tec_electronica/teoria/termistores_NTC_1.pdf
 24. Nasanovsky, M. A., Garijo, R. D., & Kimmich, R. C. (2012). *Lechería*. Recuperado el 09 de 01 de 2012, de <http://es.scribd.com/doc/70844113/IECHERIA>
 25. PCE instrument. (s.f.). *Transductores*. Recuperado el 21 de mayo de 2013, de <http://www.pce-iberica.es/instrumentos-de-medida/sistemas/transductores.htm>
 26. Robodata. (2011). *sensor ultrasonido*. Recuperado el 10 de 2012, de http://www.robodacta.mx/index.php?dispatch=products.view&product_id=30267
 27. Vega, C. P. (s.f.). *Sonido y audición*. Recuperado el 14 de 04 de 2013, de <http://personales.unican.es/perezvr/pdf/Sonido%20y%20Audicion.pdf>

ANEXOS

ANEXO 1: MANUAL DE USUARIO

El siguiente manual contiene información para la operación, configuración de parámetros y medidas de seguridad del equipo adquirido. Por favor lea y guarde este manual cuidadosamente antes de empezar la operación o hasta que esté familiarizado con el equipo. El correcto manejo del mismo garantiza su fiabilidad al momento de realizar mediciones.

El producto mostrado a continuación permite medir la densidad y la temperatura de la leche para controles de calidad en la producción de lácteos.

Por su forma y diseño es un producto versátil de fácil manipulación por parte del usuario.

1. ALIMENTACIÓN

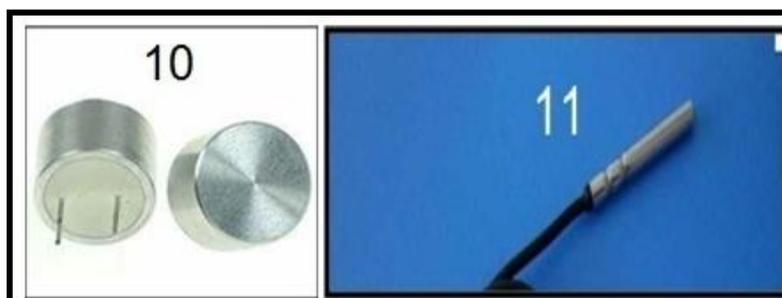
El sistema funciona con 110V/60Hz AC, pero también hay la posibilidad de conectar a 12 V CD si el usuario lo requiere, para ubicar en los transportes de leche.

2. LOCALIZACIÓN DE CONTROLES



Panel de control

Fuente: Autor



Sensores

Fuente: Autor

1. ON/OFF encendido /apagado del sistema
2. Selección modo de operación : AUTOMÁTICO/MANUAL
3. Botón medir
4. Botón aceptar
5. Botón rechazar
6. Botón calibrar/ selección parámetros

7. Botón para disminuir parámetros
8. Botón para aumentar parámetros
9. Visualización de datos
10. Transductores de medición
11. Sensor de temperatura

3. DESCRIPCIÓN DE FUNCIONES

BOTÓN ON/OFF

Permite el encendido de todo el sistema.

BOTÓN AUTOMÁTICO/ MANUAL

Permite seleccionar el modo de operación del sistema.

MODO AUTOMÁTICO -. Dependiendo de los parámetros establecidos como densidad máxima y densidad mínima toma la decisión de aceptar o rechazar la leche automáticamente.

En el caso de que la leche sea aceptada abre la válvula 1 que permite el ingreso de la leche a la producción, caso contrario se abre la válvula 2 la cual envía la leche a un contenedor para que esta sea devuelta a su proveedor por estar fuera de los rangos aceptables.

MODO MANUAL.- una vez realizada la medición de la densidad, el usuario es el encargado de tomar la decisión de aceptar o rechazar la leche a través de los botones en el tablero de control.

BOTÓN MEDIR

Presionando este botón se inicia la medición de la densidad de la leche.

BOTÓN ACEPTAR

Este botón nos permite abrir la válvula 1 para ingresar la leche al sistema de producción, este botón funciona solo en modo manual.

BOTÓN RECHAZAR

Este botón nos permite abrir la válvula 2 para enviar la leche al contenedor de devolución, este botón funciona solo en modo manual.

BOTÓN CALIBRAR

Presionando este botón permite ingresar al menú de configuración de parámetros siempre y cuando se tengan presionados los botones aceptar y rechazar al mismo tiempo durante un tiempo de 2 segundos, pues caso contrario regresa al menú principal.

Una vez dentro del menú de configuración tenemos tres parámetros en los cuales podemos desplazarnos presionando nuevamente el botón calibrar.

PARÁMETRO 0: FACTOR DE CORRECCIÓN DE LA MEDICIÓN.

Permite incrementar o disminuir el valor de densidad, mediante el valor ingresado en este parámetro, si el valor de este parámetro se incrementa en una unidad, el valor de la densidad se incrementará en una unidad.

PARÁMETRO 1: VALOR MÍNIMO DE DENSIDAD

Es el valor mínimo de densidad que debe tener la leche para ser aceptada.

PARÁMETRO 2: VALOR MÁXIMO DE DENSIDAD

Es el valor máximo de densidad que puede tener la leche para ser aceptada.

Una vez configurado los parámetros del sistema se presiona el botón aceptar para guardas dichos valores y regresar al programa principal.

BOTÓN DISMINUIR PARÁMETROS

Presionando este botón permite disminuir el valor de los parámetros anteriores.

BOTÓN AUMENTAR PARÁMETROS

Presionando este botón permite incrementar el valor de los parámetros anteriores.

VISUALIZACIÓN DE DATOS

Es una pantalla LCD la cual nos permite visualizar los datos de medición tanto de densidad como de temperatura de la leche.

TRANSDUCTORES DE MEDICIÓN

Son dos; el emisor y receptor los cuales nos permiten realizar la medición de la densidad de la leche.

SENSOR DE TEMPERATURA

Es un sensor tipo ntc el cual nos permite tomar los valores de medición de temperatura de la leche.

4. SEGURIDAD DEL SISTEMA

- Evítese el excesivo contacto con el agua pues esta puede ingresar al interior del panel donde se encuentran las placas de control y causar daños irreversibles.
- La limpieza del panel de control debe realizarse con un paño húmedo.
- Evítese golpes que puedan trisar o afectar de alguna manera la visibilidad de los datos.
- No intente abrir la caja bajo ningún concepto en caso de ser necesario solicite ayuda a personal autorizado.
- La limpieza de los sensores debe realizarse a diario y utilizando el detergente para equipos de ordeño, o su equivalente.
- No acerque al fuego, evite temperaturas excesivas.

ANEXO 2: HOJA DE DATOS DEL DRIVER L293D



L293D
L293DD

PUSH-PULL FOUR CHANNEL DRIVER WITH DIODES

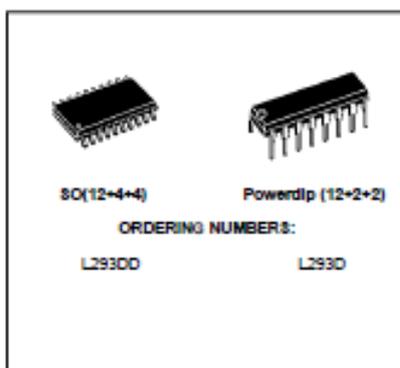
- 600mA OUTPUT CURRENT CAPABILITY PER CHANNEL
- 1.2A PEAK OUTPUT CURRENT (non repetitive) PER CHANNEL
- ENABLE FACILITY
- OVERTEMPERATURE PROTECTION
- LOGICAL "0" INPUT VOLTAGE UP TO 1.5 V (HIGH NOISE IMMUNITY)
- INTERNAL CLAMP DIODES

DESCRIPTION

The Device is a monolithic integrated high voltage, high current four channel driver designed to accept standard DTL or TTL logic levels and drive inductive loads (such as relays solenoids, DC and stepping motors) and switching power transistors.

To simplify use as two bridges each pair of channels is equipped with an enable input. A separate supply input is provided for the logic, allowing operation at a lower voltage and internal clamp diodes are included.

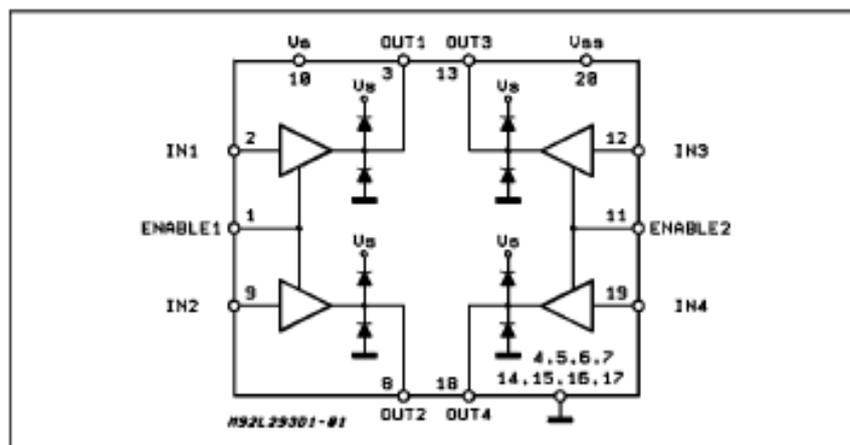
This device is suitable for use in switching applications at frequencies up to 5 kHz.



The L293D is assembled in a 16 lead plastic package which has 4 center pins connected together and used for heatsinking.

The L293DD is assembled in a 20 lead surface mount which has 8 center pins connected together and used for heatsinking.

BLOCK DIAGRAM



June 1996

1/7

L293D - L293DD

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (for each channel, $V_D = 24\text{ V}$, $V_{SS} = 5\text{ V}$, $T_{amb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$, unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_D	Supply Voltage (pin 10)				36	V
V_{SS}	Logic Supply Voltage (pin 20)		4.5		36	V
I_S	Total Quiescent Supply Current (pin 10)	$V_i = L; I_O = 0; V_{en} = H$		2	6	mA
		$V_i = H; I_O = 0; V_{en} = H$		16	24	mA
		$V_{en} = L$			4	mA
I_{SS}	Total Quiescent Logic Supply Current (pin 20)	$V_i = L; I_O = 0; V_{en} = H$		44	60	mA
		$V_i = H; I_O = 0; V_{en} = H$		16	22	mA
		$V_{en} = L$		16	24	mA
V_{iL}	Input Low Voltage (pin 2, 9, 12, 19)		-0.3		1.5	V
V_{iH}	Input High Voltage (pin 2, 9, 12, 19)	$V_{SS} \leq 7\text{ V}$	2.3		V_{SS}	V
		$V_{SS} > 7\text{ V}$	2.3		7	V
I_{iL}	Low Voltage Input Current (pin 2, 9, 12, 19)	$V_{iL} = 1.5\text{ V}$			-10	μA
I_{iH}	High Voltage Input Current (pin 2, 9, 12, 19)	$2.3\text{ V} \leq V_{iH} \leq V_{SS} - 0.6\text{ V}$		30	100	μA
V_{enL}	Enable Low Voltage (pin 1, 11)		-0.3		1.5	V
V_{enH}	Enable High Voltage (pin 1, 11)	$V_{SS} \leq 7\text{ V}$	2.3		V_{SS}	V
		$V_{SS} > 7\text{ V}$	2.3		7	V
I_{enL}	Low Voltage Enable Current (pin 1, 11)	$V_{enL} = 1.5\text{ V}$		-30	-100	μA
I_{enH}	High Voltage Enable Current (pin 1, 11)	$2.3\text{ V} \leq V_{enH} \leq V_{SS} - 0.6\text{ V}$			± 10	μA
$V_{O(sat)H}$	Source Output Saturation Voltage (pins 3, 8, 13, 18)	$I_O = -0.6\text{ A}$		1.4	1.8	V
$V_{O(sat)L}$	Sink Output Saturation Voltage (pins 3, 8, 13, 18)	$I_O = +0.6\text{ A}$		1.2	1.8	V
V_F	Clamp Diode Forward Voltage	$I_O = 600\text{ mA}$		1.3		V
t_r	Rise Time (*)	0.1 to 0.9 V_O		250		ns
t_f	Fall Time (*)	0.9 to 0.1 V_O		250		ns
t_{on}	Turn-on Delay (*)	0.5 V_i to 0.5 V_O		750		ns
t_{off}	Turn-off Delay (*)	0.5 V_i to 0.5 V_O		200		ns

(*) See Fig. 1.

ANEXO 3: HOJA DE DATOS MICROCONTROLADOR PIC 18F4550



MICROCHIP PIC18F2455/2550/4455/4550

28/40/44-Pin High-Performance, Enhanced Flash USB Microcontrollers with nanoWatt Technology

Universal Serial Bus Features:

- USB V2.0 Compliant
- Low Speed (1.5 Mb/s) and Full Speed (12 Mb/s)
- Supports Control, Interrupt, Isochronous and Bulk Transfers
- Supports up to 32 endpoints (16 bidirectional)
- 1-Kbyte dual access RAM for USB
- On-chip USB transceiver with on-chip voltage regulator
- Interface for off-chip USB transceiver
- Streaming Parallel Port (SPP) for USB streaming transfers (40/44-pin devices only)

Power-Managed Modes:

- Run: CPU on, peripherals on
- Idle: CPU off, peripherals on
- Sleep: CPU off, peripherals off
- Idle mode currents down to 5.8 μ A typical
- Sleep mode currents down to 0.1 μ A typical
- Timer1 oscillator: 1.1 μ A typical, 32 kHz, 2V
- Watchdog Timer: 2.1 μ A typical
- Two-Speed Oscillator Start-up

Flexible Oscillator Structure:

- Four Crystal modes including High Precision PLL for USB
- Two External Clock modes, up to 48 MHz
- Internal oscillator block:
 - 8 user-selectable frequencies, from 31 kHz to 8 MHz
 - User-tunable to compensate for frequency drift
- Secondary oscillator using Timer1 @ 32 kHz
- Dual oscillator options allow microcontroller and USB module to run at different clock speeds
- Fail-Safe Clock Monitor
 - Allows for safe shutdown if any clock stops

Peripheral Highlights:

- High-current sink/source 25 mA/25 mA
- Three external interrupts
- Four Timer modules (Timer0 to Timer3)
- Up to 2 Capture/Compare/PWM (CCP) modules:
 - Capture is 16-bit, max. resolution 6.25 ns (T_{OV}/16)
 - Compare is 16-bit, max. resolution 100 ns (T_{OV})
 - PWM output: PWM resolution is 1 to 10-bit
- Enhanced Capture/Compare/PWM (ECCP) module:
 - Multiple output modes
 - Selectable polarity
 - Programmable dead time
 - Auto-Shutdown and Auto-Restart
- Enhanced USART module:
 - LIN bus support
- Master Synchronous Serial Port (MSSP) module supporting 3-wire SPI™ (all 4 modes) and I²C™ Master and Slave modes
- 10-bit, up to 13-channels Analog-to-Digital Converter module (AD) with programmable acquisition time
- Dual analog comparators with input multiplexing

Special Microcontroller Features:

- C compiler optimized architecture with optional extended instruction set
- 100,000 erase/write cycle Enhanced Flash program memory typical
- 1,000,000 erase/write cycle Data EEPROM memory typical
- Flash/Data EEPROM Retention: > 40 years
- Self-programmable under software control
- Priority levels for interrupts
- 8 x 8 Single-Cycle Hardware Multiplier
- Extended Watchdog Timer (WDT):
 - Programmable period from 41 ms to 131s
- Programmable Code Protection
- Single-Supply 5V In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) via two pins
- In-Circuit Debug (ICD) via two pins
- Optional dedicated ICD/ICSP port (44-pin devices only)
- Wide operating voltage range (2.0V to 5.5V)

Device	Program Memory		Data Memory		IO	10-bit A/D (ch)	CCP/ECCP (PWM)	SPP	MSSP		USART	# Comparators	Timers 8/16-bit
	Flash (bytes)	# Single-Word Instructions	SRAM (bytes)	EEPROM (bytes)					SPI™	Master I ² C™			
PIC18F2455	24K	12288	2048	256	24	10	2/0	No	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F2550	32K	16384	2048	256	24	10	2/0	No	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F4455	24K	12288	2048	256	35	13	1/1	Yes	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F4550	32K	16384	2048	256	35	13	1/1	Yes	Y	Y	1	2	1/3

© 2004 Microchip Technology Inc.

Preliminary

D639632B-page 1

PIC18F2455/2550/4455/4550

7.0 DATA EEPROM MEMORY

The data EEPROM is a nonvolatile memory array, separate from the data RAM and program memory, that is used for long-term storage of program data. It is not directly mapped in either the register file or program memory space, but is indirectly addressed through the Special Function Registers (SFRs). The EEPROM is readable and writable during normal operation over the entire V_{DD} range.

Four SFRs are used to read and write to the data EEPROM as well as the program memory. They are:

- EECON1
- EECON2
- EEDATA
- EEADR

The data EEPROM allows byte read and write. When interfacing to the data memory block, EEDATA holds the 8-bit data for read/write and the EEADR register holds the address of the EEPROM location being accessed.

The EEPROM data memory is rated for high erase/write cycle endurance. A byte write automatically erases the location and writes the new data (erase-before-write). The write time is controlled by an on-chip timer; it will vary with voltage and temperature as well as from chip to chip. Please refer to parameter D122 (Table 28-1 in Section 28.0 "Electrical Characteristics") for exact limits.

7.1 EECON1 and EECON2 Registers

Access to the data EEPROM is controlled by two registers: EECON1 and EECON2. These are the same registers which control access to the program memory and are used in a similar manner for the data EEPROM.

The EECON1 register (Register 7-1) is the control register for data and program memory access. Control bit, EEPGD, determines if the access will be to program or data EEPROM memory. When clear, operations will access the data EEPROM memory. When set, program memory is accessed.

Control bit, CFGS, determines if the access will be to the configuration registers or to program memory/data EEPROM memory. When set, subsequent operations access configuration registers. When CFGS is clear, the EEPGD bit selects either program Flash or data EEPROM memory.

The WREN bit, when set, will allow a write operation. On power-up, the WREN bit is clear. The WRERR bit is set in hardware when the WREN bit is set and cleared when the internal programming timer expires and the write operation is complete.

Note: During normal operation, the WRERR is read as '1'. This can indicate that a write operation was prematurely terminated by a Reset or a write operation was attempted improperly.

The WR control bit initiates write operations. The bit cannot be cleared, only set, in software; it is cleared in hardware at the completion of the write operation.

Note: The EEIF interrupt flag bit (PIR2<4>) is set when the write is complete. It must be cleared in software.

Control bits, RD and WR, start read and erase/write operations, respectively. These bits are set by firmware and cleared by hardware at the completion of the operation.

The RD bit cannot be set when accessing program memory (EEPGD = 1). Program memory is read using table read instructions. See Section 8.1 "Table Reads and Table Writes" regarding table reads.

The EECON2 register is not a physical register. It is used exclusively in the memory write and erase sequences. Reading EECON2 will read all '0's.

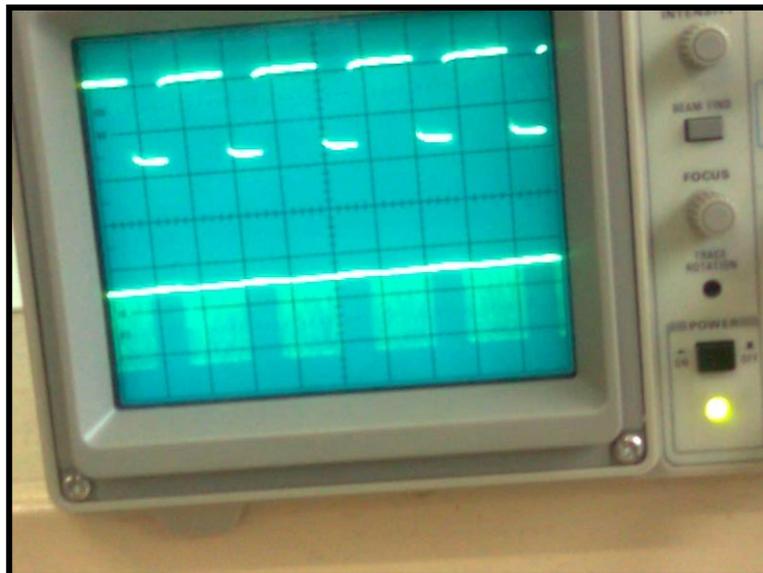
ANEXO 4: PANEL DE CONTROL Y ANÁLISIS DE ONDAS



Panel de control



Análisis de Ondas



Análisis de ondas. Pruebas iniciales

ANEXO 5: MEDIDOR DE DENSIDAD MILKOTESTER UTILIZADO PARA LA CALIBRACIÓN



Rangos de medición		Rangos de error permisible	
Grasa	0.00% ÷ 25%	Grasa	± 0.10%
Sólidos no grasos	3% ÷ 15%	Sólidos no grasos	± 0.1%
Densidad	1015 ÷ 1040 kg/m ³	Densidad	± 0.3 kg/m ³
Proteína	2% to 7%	Proteína	± 0.15%
Lactosa	0.01 % ÷ 6 %	Lactosa	± 0.1%
Agua adicionada	0 % ÷ 70 %	Agua adicionada	± 3.0%
Temperatura	1 °C ÷ 40 °C	Temperatura	± 1°C
Punto de crioscopia	-0,3 ÷ -0,7 °C	Punto de crioscopia	± 0.005°C
Sales	0,4 ÷ 1,5%	Sales	± 0.05%
pH	0 ÷ 14	pH	± 0.05
Conductividad	2 ÷ 10 [mS/cm]	Conductividad	± 0.1

Especificaciones de Milkotester

Fuente://prolact.com/pdf/mastereco.pdf

MasterEco

ultrasonic technology
portable design
peristaltic pump
large graphic display
low power consumption
very small quantity milk
low cost
ESC POS printer support
one year full warranty
clock (time and date)
no acid or other chemicals used

Bluetooth
USB

Master Eco is portable, small-sized, fast milk analyzer with capability for power supply from car battery. The milk analyzer is suitable for use in small farms and milk collecting centers. The power supply used, ensures the stable work of the device in case of variations of the voltage from 100 to 260 volts. The small size and mobility of the Master Eco analyzer, allow its usage in field conditions.

Large graphic display

Large graphic display with bilingual menu capability (English and French or English and Spanish)

PARAMETERS	MasterEco
FAT	0.01% - 25%
SOLIDS-NON-FAT	3% - 15%
DENSITY	1015 - 1160 kg/m ³
PROTEIN	2% - 7%
LACTOSE	0.01% - 6%
SALTS	0.4% - 1.0%
ADDED WATER	0% - 20%
FREZZING POINT	-0.4 - -0.7 C°
SAMPLE TEMPERATURE	5 - 40%
pH	
CONDUCTIVITY	

> English 英语
 Chinese 中文
 > 编辑冰点
 校准冰点
 校准温度

Medidor de densidad utilizado en la calibración

ANEXO 6: HOJA DE DATOS DEL SENSOR DE TEMPERATURA NTC



Temperature measurement						B57871S
Leaded NTC thermistors, lead spacing 2.5 mm						S871
R/T characteristics						
R/T No.	1008		2001		2901	
T (°C)	$B_{25/100} = 3560 \text{ K}$		$B_{25/100} = 3920 \text{ K}$		$B_{25/100} = 3760 \text{ K}$	
	R_T/R_{25}	α (%/K)	R_T/R_{25}	α (%/K)	R_T/R_{25}	α (%/K)
-55.0	53.104	6.1	67.762	7.1	63.969	6.7
-50.0	39.318	6.0	61.922	6.9	46.179	6.4
-45.0	29.325	5.8	44.168	6.7	33.738	6.2
-40.0	22.03	5.7	31.833	6.5	24.927	6.0
-35.0	16.666	5.5	23.173	6.3	18.611	5.8
-30.0	12.696	5.4	17.03	6.1	14.033	5.6
-25.0	9.7251	5.2	12.621	5.9	10.679	5.4
-20.0	7.5171	5.1	9.4515	5.8	8.198	5.3
-15.0	5.8353	4.9	7.1273	5.6	6.3123	5.2
-10.0	4.5686	4.8	5.427	5.5	4.9014	5.1
-5.0	3.605	4.7	4.1522	5.3	3.821	4.9
0.0	2.8665	4.5	3.2063	5.1	3.0027	4.7
5.0	2.2907	4.4	2.5019	4.9	2.3801	4.6
10.0	1.8438	4.3	1.9679	4.7	1.9	4.5
15.0	1.492	4.1	1.5623	4.6	1.5257	4.3
20.0	1.2154	4.0	1.2488	4.5	1.233	4.3
25.0	1.0000	3.9	1.0000	4.3	1.0000	4.1
30.0	0.82976	3.8	0.81105	4.2	0.81679	4.0
35.0	0.68635	3.7	0.6593	4.1	0.67166	3.9
40.0	0.57103	3.6	0.53922	4.0	0.55527	3.8
45.0	0.48015	3.5	0.44345	3.9	0.46095	3.8
50.0	0.40545	3.4	0.36674	3.7	0.38459	3.7
55.0	0.3417	3.3	0.30513	3.6	0.32184	3.6
60.0	0.28952	3.2	0.25514	3.5	0.27068	3.5
65.0	0.24714	3.1	0.21457	3.4	0.22907	3.3
70.0	0.21183	3.1	0.18131	3.4	0.19468	3.2
75.0	0.18194	3.0	0.1536	3.3	0.16607	3.1
80.0	0.1568	2.9	0.13064	3.2	0.14221	3.1
85.0	0.13592	2.8	0.11155	3.1	0.12218	3.0
90.0	0.11822	2.8	0.095606	3.0	0.10533	2.9
95.0	0.1034	2.7	0.082347	3.0	0.09123	2.8
100.0	0.090741	2.6	0.07118	2.9	0.079284	2.8
105.0	0.079642	2.6	0.061779	2.8	0.069062	2.7
110.0	0.070102	2.5	0.053799	2.8	0.06034	2.7
115.0	0.061889	2.4	0.04697	2.7	0.052886	2.6
120.0	0.054785	2.4	0.041132	2.6	0.046482	2.5
125.0	0.048706	2.3	0.036141	2.6	0.040985	2.5
130.0	0.043415	2.3	0.03185	2.5	0.036233	2.5
135.0	0.038722	2.2	0.02815	2.5	0.032101	2.4
140.0	0.034615	2.2	0.02495	2.4	0.02851	2.4
145.0	0.031048	2.1	0.02216	2.3	0.025373	2.3
150.0	0.02791	2.1	0.01972	2.3	0.022633	2.3
155.0	0.025193	2.0	0.01761	2.2	0.020231	2.3

Please read Cautions and warnings and Important notes at the end of this document.

Page 4 of 19

Tabla de NTC